Untersuchungen von Dick- und Schwerspülungen im Bohrbetrieb und beim Schacht-Abbohren

Von der
Technischen Hochschule zu Breslau
zur
Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs
genehmigte

Dissertation

Vorgelegt von
Diplom-Ingenieur Helmut Zimmer
aus Breslau.

Tag der mündlichen Prüfung: 1. Juli 1932.

Referent: Professor Dr.-Ing. W. Groß.
Korreferent: Professor Dr.-Ing. G. Spackeler.

Verlag Hans Urban, Wien, XVIII., Gersthoferstraße 70

1932

*47247

Es ist mir eine angenehme Pflicht, an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer, Herrn

Professor Dr. Ing. W. Groß

für die Anregungen zu dieser Arbeit und für das rege Interesse daran, das die Untersuchungen wesentlich förderte, meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Untersuchung über Dick- und Schwerspülungen im Bohrbetrieb und beim Schachtabbohren.

Von Dipl.-Ing. H. Zimmer.
(Mitteilungen aus dem Aufbereitungslaboratorium der Technischen Hochschule Breslau, Direktor: o. Prof. Dr.-Ing. W. Groß.)

11. Dickspülung und Schwerspülung, Begriff und Verwendung.

Die Dickspülung stellt ursprünglich eine Aufschlämmung von toniger Substanz in Wasser dar, bei der Volumengewicht und Viskosität höher sind als beim Wasser. Es werden jedoch auch mangels geeigneter Tone in der Nähe der Bohrung vorhandene Lehme, Mergel, Tonschiefer oder Kreideschlämme benutzt. Die Dickspülung wird in der Tiefbohrtechnik als direkte oder als Verkehrtspülung verwendet, um die Bohrlochstöße unverrohrt halten zu können und den Bohrschmand über Tage zu fördern. Ihre Hauptverwendung findet sie beim Rotary-Bohren. Die Schwerspülung ist eine spezifisch besonders schwere Spülung, die durch Beimengung fein aufgemahlener Schweremittel zur Dickspülung entsteht. Als Schweremittel finden fein aufgemahlener Baryt mit einem spez. Gew. von 4,5, Hämatit (spez. Gew. 4,5 — 4,8), Eisenoxyd, Bleiweiß und selbst Zement, Kalk und Gips Anwendung. Schwerspülungen haben ein spez. Gew. über 1,3 — 2,0 und werden angewendet, wenn es gilt einen hohen im Bohrloch herrschenden Druck zu überwinden. Sie verhindern beim Durchteufen gastragender Schichten das Ausblasen der Spülung und das freie Eruptieren von Sonden mit seinen Gefahren. Ferner werden Dick- und Schwerspülungen beim Honigmann'schen Schachtabteufen mit gleichem Ziel wie beim Tiefbohren angewendet. Die physikalisch-chemischen und hydrodynamischen Probleme, die sich bei der Untersuchung von Dick- und Schwerspülungen ergeben, treten weiter auf bei Spülversatzanlagen und bei der Abwässerklärung und berühren das Gebiet der Schwimmaufbereitung.

12. Physikalisch-chemische Eigenschaften der Dickspülung.

Den Schlüssel für das Erreichen der gewünschten Eigenschaft einer Spülung liefert die Erkenntnis von dem Wesen der Dickspülung als disperses System. Die Dickspülung stellt physikalisch-chemisch ein disperses System dar, das aus der dispersen oder fein verteilten Phase Ton u. a. und dem Dispersions- oder Verteilungsmittel Wasser besteht. Die disperse Phase setzt sich aus Teilchen jedes Dispersions- oder Feinheitsgrades zusammen, von den grobverteilten Teilchen bis zu den echten Molekülen. Zu einem größeren oder geringeren Prozentsatz, je nach der Kornfeinheit des Tons, liegt eine grobe Suspension mit Teilchen von Korngrößen über 0,2 μ vor, die sich im Schwebezustand befinden. Das sind molekulare Komplexe von verschiedener Größe, die die Spülung nicht physikalisch-chemisch beeinflussen. Sand, Kies und andere grobe Verunreinigungen gehören zu diesen unwirksamen oder inerten Bestandteilen. Ein weiterer Anteil besteht aus Teilchen von kolloider Dimension mit Korngrößen zwischen 0,2 μ und 0,001 μ. Dieser kolloidale Anteil, der für die Eigenschaften der Dickspülung entscheidend ist, bildet mit dem Wasser eine kolloide Lösung und zwar ein reversibles Hydrosol. Die kolloidal gelösten Bestandteile gehorchen den kolloidchemischen Gesetzen über Koagulation und Peptisation und besitzen große Absorptions- und Adsorptionskräfte. Es sei hier einiges über die wichtigsten kolloidchemischen Begriffe gesagt[1]), da diese Arbeit für den Bohrfachmann bestimmt ist, bei dem man nicht ohne Weiteres die Kenntnis der Kolloidchemie voraussetzen kann. Eine kolloide Lösung wird als Sol bezeichnet; stellt Wasser das Lösungsmittel dar, so liegt ein Hydrosol vor. Sole können durch Hitzewirkung, elektrischen Strom und Elektrolyte zum Gerinnen oder Koagulieren gebracht werden. Es entsteht dann aus dem Sol ein Koagel oder kurz Gel, ein Vorgang, der auch als Flockung bezeichnet wird. Stoffe, die geeignet sind diesen Vorgang aufzuhalten, oder zu verhindern, heißen Schutzkolloide oder Stabilisatoren. Die Gel-Sol-Umwandlung nennt man Peptisation. Stoffe, die Gele in den Solzustand überführen, werden als Peptisatoren bezeichnet. Kann man Gele in Sole und diese wieder in Gele umwandeln, so nennt man die Sole bezw. Gele reversibel.

In geringer Menge enthält jede Dickspülung noch organische Substanzen, die oft als Schutzkolloide wirken, und im Wasser der Spülung echt gelöste, molekular-dispers verteilte Stoffe oder Kristalloide (z. B. anorganische Salze) unter 0,001 μ Größe. Diese Kristalloide können den Dispersitätsgrad der Kolloide beeinflußen, indem sie koagulierend oder peptisierend oder als Schutzkolloide, also stabilisierend wirken.

Bezüglich der Struktur stellt die Dickspülung ein Uebergangsstadium zwischen Sol und Gel dar. Viele Eigenschaften deuten auf die Struktur einer flüßigkeitserfüllten Tongallerte und zwar einer Suspensoidgallerte im Sinne Ostwalds[2]), z. B. die Beziehungen zwischen Konzentration und Viskosi-

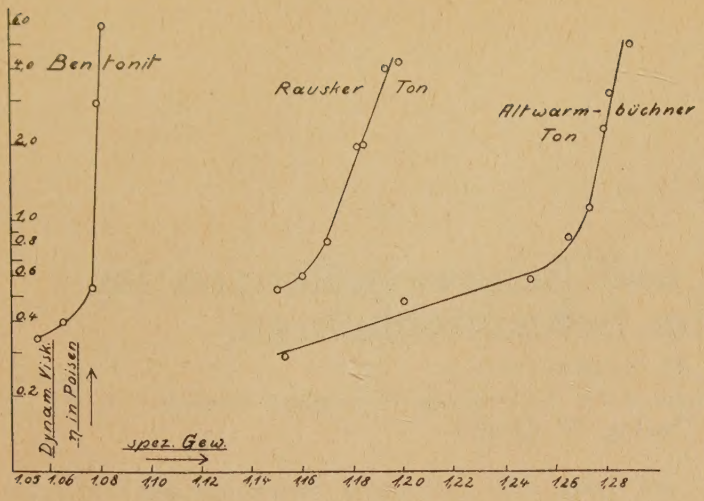

Abb. 1. Viskosität und Konzentration von Ton-Wassersuspensionen.

tät, Viskosität und Temperatur, und die Erscheinung der Synäresis, des Abstoßens einer dünnen mit der Zeit wachsenden Haut der flüssigen Phase. Betrachtet man das Kurvenbild Abb. 1, das die Beziehungen zwischen der Viskosität und der Konzentration von einer Bentonit-*) und zwei Ton-Aufschlämmungen darstellt, so sieht man, daß die Viskosität mit steigender Konzentration bei allen drei Stoffen nicht linear zunimmt, wie bei reinen Suspensionen, sondern in höherer Funktion, wie es für Emulsoide charakteristisch ist. Man stellt sich die kleinsten Kolloidteile als Kügelchen verschiedener Größe vor und nennt sie Protone. Sie bestehen bereits aus mehreren Molekülen. Treten mehrere solcher Protone zu einem größeren Komplex zusammen, so entsteht ein Polyon oder Mizell. Bei der Bildung von Mizellen schließen die Protone die gröber suspendierten Teile ein und verhindern diese dadurch am Ausfallen aus der Spülung. Sie halten so alle Teile in einem stabilen Verbande, der im einzelnen gesehen heterogen und polydispers, d. h. aus den verschiedensten Korngrößengruppen zusammengesetzt ist, während die Spülung makroskopisch betrachtet infolge ihrer Stabilität als homogenes System aufgefaßt werden kann. Die Peptisation ist auf eine Erhöhung des Dispersitätsgrades zurückzuführen. Durch den Peptisator werden die Tonmizellen z. T. zerrissen und vielleicht bis zu Protonen oder Primärteilchen aufgespalten. Der Verband der einzelnen Teile untereinander wird dadurch gelockert, es tritt ein Sinken der inneren Reibung ein. Bei der Koagulation treten die Primärteilchen wieder zu Mizellen und Mizellverbänden zusammen. Werden diese Mizellkomplexe zu groß, so tritt ein Ausflocken aus dem Dispersionsmittel, eine völlige Koagulation ein. Dabei entmischt sich die Dickspülung völlig in Wasser und Ton. In einer stabilen Dickspülung geht die Teilchen-Vergröberung bei der Koagel-Bildung nicht so weit. Die Mizelle lagern sich zwar aneinander, bleiben aber durch Wasserhüllen und mehr oder minder große Wasserein-

*) Betonit ist ein tonähnliches Mineral, das 5—10% Alkali oder alkalische Erdoxyde enthält und vor allem in U. S. A. und Kanada vorkommt.
(Ladoo, Non metallic minerals, New-York 1925.)

schlüsse voneinander getrennt. Es findet nur eine Teilentmischung statt. Wir haben eine flüssigkeitserfüllte Gallerte vor uns. Darauf deutet auch das anormale Sinken der Viskosität der Spülung bei steigender Temperatur, das später noch behandelt wird. Während diese Eigenschaften für den Zustand einer Gallerte sprechen, fehlen der Dickspülung einige für Emulsionsgallerten typische Eigenschaften: Formbeständigkeit und Elastizität. Ostwald bezeichnet solche Gebilde daher als Suspensoidgallerten. Die Dickspülung zeigt gemäß ihrer Eigenschaft als Uebergangsstadium zwischen kolloider Suspension und Suspensoidgallerte insbesondere beim Altern auch mechanisch jeden Uebergang von einer tropfbaren Flüssigkeit bis zu einem pseudoplastischen Gallertkörper, dessen Plastizität durch dynamische Beanspruchung wieder aufgehoben werden kann, also völlig reversibel ist. Wir bezeichnen diesen Vorgang als **Versteifung.** Er wird äußerlich gekennzeichnet durch ein Anwachsen der Viskosität mit der Zeit bei ruhender Spülung, wie überhaupt die Viskosität ein zuverlässiger Indikator für die Zustandsänderungen in der Spülung ist. Die Dickspülung stellt also ein disperses System dar, dessen Dispersitätsgrad höher ist als der grober Suspensionen und niedriger als der kolloider Lösungen. Die Verflüssigung einer Dickspülung mittels bestimmter alkalischer Reagenzien ist ein komplizierter Vorgang. Zunächst werden dabei die elektronegativen Kolloidteile des Tons peptisiert, d. h. in einen höher dispersen Zustand übergeführt und gleichzeitig stabiler gemacht. Zweitens verursacht das Alkali eine Quellung der Aluminiumsilikatpartikel und zwar besonders bei höheren Alkalikonzentrationen.[2]) Drittens wirkt das Alkali auf die vorhandenen organischen Kolloide, Humussäure und Tannin. Kleine Alkalimengen peptisieren diese Schutzkolloide, größere Mengen laugen sie aus und dispergieren sie vielleicht bis zum molekulardispersen Zustand. Diese Prozesse überlagern sich und komplizieren damit das Bild.

Die Schwerspülung gehorcht im wesentlichen denselben Gesetzen wie die Dickspülung. Sie muß als ternäres System Wasser-Ton-Schweremittel betrachtet werden. Es tritt zu den oben behandelten Komponenten noch das fein aufgemahlene Schweremittel, das alle Uebergänge von grob suspendierten (unter 60 μ) bis zu echt kolloiddispersen Körnern aufweist. Da eine Vermahlung bis zur kolloidalen Größe wirtschaftlich nicht tragbar ist, haben wir es im wesentlichen mit inerten in der Tonsuspension eingebundenen, von Tonmizellen umlagerten Bestandteilen zu tun.

13. *Die hydrodynamischen Eigenschaften der Spülung.*

In hydromechanischer Beziehung soll die Dickspülung die Bohrlochstöße vor Nachfall schützen und den Bohrschmand austragen. Zum Schutz der Bohrlochwand ist es nötig, daß die Spülung in die Porenräume der Wand eindringt. Nach den Poiseuille'schen Forschungen dringt eine Flüssigkeit um so leichter in Kapillarräume ein, je weniger zäh sie ist. Demnach muß die Spülung in der Bewegung möglichst dünnflüssig sein, um in die Kapillarräume des Gebirges eindringen zu können.

Damit gerät die eingedrungene Spülung in den Ruhezustand und soll in diesem möglichst stark versteifen, um so die Bohrlochwand zu verkleistern. Die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Dickspülung bestimmen ihr hydrodynamisches Verhalten im Bohrloch. Die Dickspülung gehorcht den Strömungsgesetzen zäher Flüssigkeiten, die maßgeblich für die Tragfähigkeit der Spülung für Bohrschmandteile sind. Theoretisch läßt sich nur über das Verhalten kugelförmiger Körper in der Spülung etwas aussagen. Raleigh[3]) fand durch Versuche, daß die Bewegungsgesetze von Kugeln in Flüssigkeiten beliebiger Art von zwei Koeffizienten beherrscht werden, der Reynolds'schen Zahl R und dem Widerstandskoeffizienten ψ. Die Reynoldszahl R ist gleich dem Produkt aus Stromgeschwindigkeit v, Durchmesser der Kugel d und Flüssigkeitsdichte σ, dividiert durch die dynamische Zähigkeit η der Flüssigkeit.

$$R = \frac{v \cdot d \cdot \sigma}{\eta} \qquad 1)$$

Der Widerstandskoeffizient ψ ist gleich der Kraft P auf die Kugelfläche dividiert durch das Produkt aus der Flüssigkeitsdichte, dem Quadrat der Geschwindigkeit und dem Quadrat des Kugeldurchmessers.

$$\psi = \frac{P}{\sigma \cdot v^2 d^2} \qquad 2)$$

R erfaßt die inneren Strömungsvorgänge, ψ ist eine Funktion der Körperform. ψ und R stehen in einem funktionalen Zusammenhang miteinander. Dieser Funktion nähern sich je nach den Größen von R und ψ die Gesetze von Newton, Allen und Stokes.

Soll eine Kugel vom Durchmesser d und dem spez. Gewicht γ schwimmen, so wird die auf die Kugel wirkende Kraft P gleich dem Gewicht der Kugel in der Flüssigkeit

$$P = \frac{\pi}{\sigma} g\, d^3 (\gamma - \sigma)$$

Setzt man diese Kraft P in die Gleichung 2 ein, so erhält man

$$\psi = 513{,}7 \frac{d(\gamma - \sigma)}{\sigma \cdot v^2}$$

Aus der Beziehung $\psi = f[R]$ errechnen sich die erforderlichen Aufstromgeschwindigkeiten, die der Spülstrom haben muß, damit er den Bohrschmand mit hochträgt. Theoretisch würde daher bei einer Aufstromgeschwindigkeit von 10 cm/sec ein Korn von 0,3 cm ∅ bei einer Zähigkeit von 0,42 Poisen, ein Korn von 0,4 cm ∅ bei einer dynamischen Zähigkeit von 0,81 Poisen in einer Spülung vom spez. Gew. 1,20 schwimmen. Ruht der Spülstrom, so fällt das Korn mit derselben Geschwindigkeit, die vorher der aufwärts gehende Spülstrom innehatte, der es in Schwebe brachte. Aus der Reynoldszahl R und dem Widerstandskoeffizienten ψ geht hervor, daß je geringer die Geschwindigkeit v wird, um so größer ψ und um so kleiner R wird, d. h. um so größer muß die Zähigkeit werden, um ein Korn mit bestimmtem Durchmesser in Schwebe zu halten. Soll daher der Bohrschmand bei ruhendem Spülstrom in Schwebe gehalten werden, so muß die Zähigkeit beim Stillstand der Pumpen so gewaltig anwachsen, daß sie praktisch gleich unendlich wird. Die Spülung, die gemäß ihrer physikalisch-chemischen Beschaffenheit dieser Forderung am nächsten kommen soll, muß daher in der Bewegung höchst flüssig, in der Ruhe dagegen plastisch sein.

Praktisch liegen die Vorgänge sehr viel verwickelter und entziehen sich jeder Berechnung oder Schätzung. Bereits durch das Rotieren des Gestänges und durch seine Bewegung von Stoß zu Stoß infolge Durchbiegung werden Bewegungskomponenten in den Spülstrom getragen, die der Beobachtung unzugänglich sind. Ferner haben wir es praktisch niemals mit Kugeln zu tun. Unregelmäßige Körper jedoch erfahren einen größeren Widerstand beim Fall in Flüssigkeiten, es sind daher kleinere Aufstromgeschwindigkeiten nötig als bei Kugeln. Andererseits wird man niemals genau denselben Querschnitt im Bohrloch haben. Es können vor allem größere oder kleinere Auswaschungen, sogenannte cavings, in der Bohrlochwand auftreten. In diesen Zonen weiteren Querschnitts verringert sich die Aufstromgeschwindigkeit v_2, es tritt ein Ausfallen der Bohrschmandteile nach der Maximalgeschwindigkeit auf[4]). Durch dieses Ausfallen bilden sich Zonen höherer Konzentration an Bohrschmand. Hat der ausfallende Bohrschmand den freien Querschnitt wieder genügend verengt und wird dadurch die erforderliche Aufstromgeschwindigkeit v_1 erreicht, so kommen die Bohrschmandteile wieder zum Aufsteigen. Die beiden

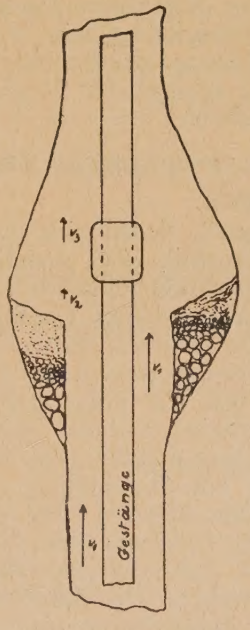

Abb. 2.

Ausfallen von Bohrschmand in Zonen weiteren Querschnitts.

Prozesse des Ausfallens in Zonen weiteren Querschnitts und des behinderten Absetzens können mehrfach auftreten und sich überlagern. Das Resultat ist, daß sich Zonen mit weniger Bohrschmand und solche mit mehr Bohrschmand bilden werden, daß ferner früher erbohrter Schmand mit später erbohrtem sich mischen wird. Man wird daher aus dem erbohrten Schmand nur mit großer Vorsicht Schlüsse auf die durchbohrten Schichten ziehen dürfen. Die Aufstellung von Bohrprofilen aus Rotary-Bohrschmand, der aus der

Dickspülung ausgewaschen wurde, muß mit äußerster Vorsicht unter Berücksichtigung der geschilderten Verhältnisse im Bohrloch geschehen. Bei unbekanntem oder stark gestörtem Gebirge müssen daher Aufschlußbohrungen nach der Rotary-Kernbohrmethode durchgeführt werden.

14. Bisherige Handhabung der Spülung in der Praxis.

Bisher wurde und wird in Deutschland die Herstellung der Dickspülung wie folgt gehandhabt. In einem Vorratsbehälter oder durch Einwerfen von Tonbrocken ins Bohrloch selbst wird ein in der Nähe vorkommender Lehm oder Ton solange mit Wasser aufgeschlämmt, bis die Spülung „dick" genug erscheint, wobei oft stark versandetes Material benutzt wird. In anderen Fällen, wo man mächtige Ton- oder Tonschieferschichten durchteuft, überläßt man das Bereiten der Dickspülung dem Bohrvorgang und erhält auf diese Weise eine in Bezug auf die Spülung selbstgängige Bohrung. Nach dem Verlassen des Bohrloches passiert die mit Bohrschmand beladene Spülung meist ein kurzes Gerinne, in dem sie die Verunreinigungen fallen lassen soll, um darauf wieder dem Pumpensumpf zuzufließen. In vielen Fällen entspricht dann die nach Augenmaß bereitete Spülung nicht den Anforderungen, die an sie gestellt werden, was bei solcher mangelhaften Behandlung der Spülung gar nicht anders sein kann, wenn man die physikalisch-chemischen und hydrodynamischen Eigenschaften der Spülung außer Acht läßt. Festwerden des Bohrzeuges oder Auskotzen der gesamten Spülung, sowie Schwierigkeiten beim Verrohren, Bildung von Aushöhlungen der Bohrlochswand sind häufig die Folge mangelnder Sorgfalt bei der Behandlung der Spülung.

15. Anforderungen an eine leistungsfähige Dickspülung.

Die Hauptanforderungen*), denen eine gute Dickspülung gerecht werden soll, sind mannigfaltig und ergeben sich aus hydrodynamischen und physikalisch-chemischen Gesichtspunkten. Die Spülung muß stabil sein, d. h. bei längerem Stehen im Bohrloch darf sie nicht in ihre Komponenten Ton- und Klarwasser zerfallen, was zur Folge haben würde, daß der Ton sich absetzt und das Bohrzeug dadurch fest wird. Diese Gefahr liegt besonders bei Schwerspülungen vor. Die Spülung soll den Bohrschmand nach oben fördern und die Bohrschmandteile auch beim Aufhören der Aufwärtsbewegung nicht auf die Bohrlochsohle fallen lassen, sondern in Schwebe halten. Die Bohrlochsohle muß zum Erreichen hoher Bohrleistungen immer frei von Bohrschmand sein. Infolgedessen soll die Spülung in der Bewegung bei genügendem Gewicht höchst flüssig sein, um leicht von den Pumpen transportiert zu werden, in der Ruhe jedoch zähflüssig werden, um beim Stillsetzen der Bohrung das Absinken des Bohrschmands zu verhindern. Die Spülung soll die Bohrlochwand durch Eindringen in die feinen Risse und Kapillarräume verkleistern und so das unverrohrte Bohrloch in gebrächem Gebirge vor Nachfall schützen. Die Spülung soll Gasblasen leicht entweichen lassen und außerhalb des Bohrlochs in den Klärbassins den Bohrschmand leicht fallen lassen. Die Spülung muß frei von korrodierenden Bestandteilen und von heller Farbe sein, damit man Oelspuren leicht erkennen kann. Schließlich soll die Spülung das Bohrzeug kühlen. Temperaturen bis zur Frittung von Bohrkernen sind nachgewiesen.**) Die Forderungen, daß die Spülung den Bohrschmand im Bohrloch festhalten soll, um ihn außerhalb des Bohrlochs leicht fallen zu lassen, widersprechen sich direkt und werden niemals gleichzeitig zu erreichen sein. Es ist vielmehr Aufgabe des Bohringenieurs die Spülung außerhalb des Bohrloches so zu behandeln, daß sie die schädlichen Bestandteile ausscheidet.

21 Viskosität, Dispersitätsgrad und Alterung von Tonwassersuspensionen.

Um Mittel und Wege zu finden, Tonaufschlämmungen so zu beeinflussen, daß sie den an eine gute Dickspülung gestellten Ansprüchen gerecht werden, wurden zunächst einfache Ton-Wassersuspensionen auf ihr kolloidchemisches Verhalten untersucht. Der Untersuchung leicht zugänglich ist das spez. Gewicht bezw. die Konzentration Ton zu Wasser oder der Dispergierungsgrad. Die Bestimmungen des spez. Gewichts erfolgten mit dem Pyknometer durch Wägen. Ist das spez. Gewicht einer Spülung s, und sind m und n die Volumenprozente von Ton und Wasser, ferner a das spez. Gewicht des Tons, so ist nach der allgemeinen Mischformel

$$s = \frac{(a \cdot m) + n}{m + n} \quad \text{und} \quad m + n = 100$$

oder

$$m = \frac{100\,(s - 1)}{(a - 1)}$$

Aus dieser Beziehung errechnet sich das Mischungsverhältnis bezw. die Konzentration einer Spülung. Das spez. Gewicht der Spülung bestimmt deren hydrostatischen Druck in der Ruhe. Ist T die Teufe in Metern, s das spez. Gewicht der Spülung, so ist der Druck bei T Meter Teufe $P = \frac{T \cdot s}{10}$ Atm. Bei den hydrodynamischen Eigenschaften der Spülung wurde bereits darauf hingewiesen, daß das spez. Gewicht für den Auftrieb der Bohrschmandteile eine große Rolle spielt.

Ein anderes Mittel, eine Spülung treffend zu kennzeichnen ist ihre Viskosität. An anderer Stelle habe ich über diese Eigenschaft ausführlich referiert.[5]) Die Viskosität ist ein empfindlicher Indikator für Zustandsänderungen in kolloiden Systemen. Als dritter physikalisch-chemischer Index wurde die Veränderung der Wasserstoffionen-Kon-

*) Nach Beendigung vorliegender Arbeit erschien ein Vortrag von Ing. W. Halder: „Zum Problem der Dickspülung", im Jahrbuch des Deutschen Nationalen Komitees für die Internationalen Bohrkongresse Band II Berlin 1932. In dieser Arbeit setzt sich Halder ausführlich mit den Argumenten gegen die Dickspülung auseinander. Zwar stimme ich den theoretischen, vor allem den kolloidchemischen Betrachtungen nicht in allen Punkten bei, doch weise ich nachdrücklich auf die beachtlichen praktischen Ausführungen der Halder'schen Arbeit hin.

**) Stutzer, Lagerstätten der Nichterze, Bd. 3, Berlin 1931.

zentration, der pH-Wert beobachtet. Die pH-Wertmessung erfolgt mit dem Folienkolorimeter von Lautenschläger. Die Messung der Viskosität von Tonwassersuspensionen bereitet große Schwierigkeiten. Kapillar-Viskosimeter sind bei den in Frage kommenden Konzentrationen nicht zu verwenden, da die Viskosität der Suspensionen unter Umständen während der Messung so stark zunimmt, daß die Kapillare nicht mehr durchflossen wird. Außerdem sind die Dickspülungen niemals völlig frei von Verunreinigungen in Form kleiner Quarzkörner usw., sodaß dadurch ein Verstopfen der Kapillaren eintritt. Ebenfalls wegen der hohen Versteifungsgeschwindigkeit der Dickspülungen ergab die Meßmethode nach dem Prinzip des rotierenden Zylinders keine brauchbaren Werte. Als brauchbare Methode, die auch eine Beobachtung der Versteifung der Spülungen mit der Zeit gestattete, wurde die von Stokes mathematisch formulierte Messung mittels Kugelfall erkannt[6]). Das verwendete Instrument war ein Viskosimeter nach Dr. Fischer. Da bei den undurchsichtigen Trüben ein Beobachten mit den Augen nicht in Frage kam, beim Anzeigen mittels Kontakt durch Gleichstrom sich elektrolytische Zersetzungen der Spülung bemerkbar machten, wurde eine besondere Anzeige-Vorrichtung gewählt, Abb. 3 u. 4. Der im Element E erzeugte Strom erregt im Induktor J einen Induktionsstrom. Der hochfrequente Induktionsstrom passiert die nach dem Schema einer Wheatstone'schen Brücke geschalteten Rheostaten, den Stöpselwiderstand S, den variablen Schiebewiderstand R und den Widerstand K, der durch die Meßflüssigkeit gebildet wird. Die Ueberbrückung geschieht durch einen Fernhörer T. Die Widerstände werden so reguliert, daß über die Brücke kein Strom fließt, wobei der Induktionsstrom keinen Ton mehr im Kopfhörer verursacht. Berührt die fallende Kugel den Kontakt bei K, so werden die Widerstandsverhältnisse geändert und es entsteht ein lauter Ton im Kopfhörer. Die verwendeten Kugeln wurden gegen Rohrzuckerlösung von bekannter Zähigkeit geeicht. Außerdem wurden von jeder Trübe die Ausflußzeiten im Trichterviskosimeter gemessen[7]). Die Viskositätswerte wurden in der Einheit der Poise ausgedrückt. Den amerikanischen Versuchen eine physikalisch nicht streng definierte Zerreißgrenze (Yield value) zur Charakterisierung von Spülungen einzuführen, kann ich nicht beistimmen.[8]) Es besteht kein Grund, sich von den physikalischen Definitionen der Viskosität zu entfernen, da gerade der Vorteil der kolloid-chemischen Betrachtungsweise darin liegt, die Erscheinungen bei Strömungsvorgängen zu vereinheitlichen. Für die Versuche der Arbeit wurde in großen Zügen folgendes Arbeitsschema eingehalten:

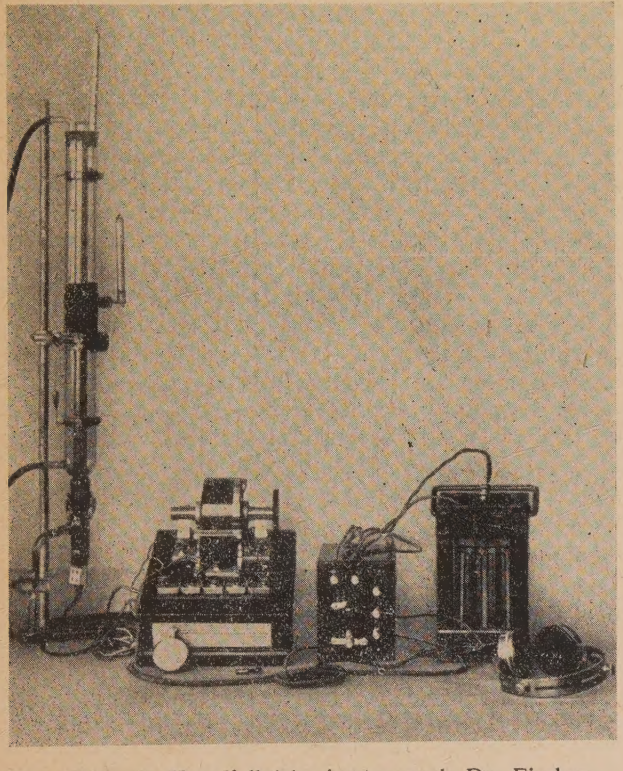

Abb. 3. Kugelfallviskosimeter nach Dr. Fischer.

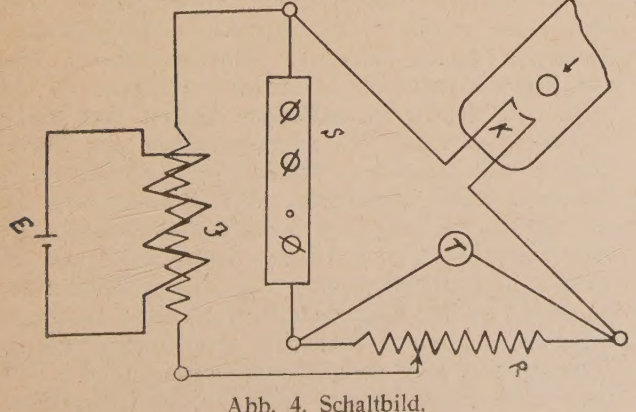

Abb. 4. Schaltbild.

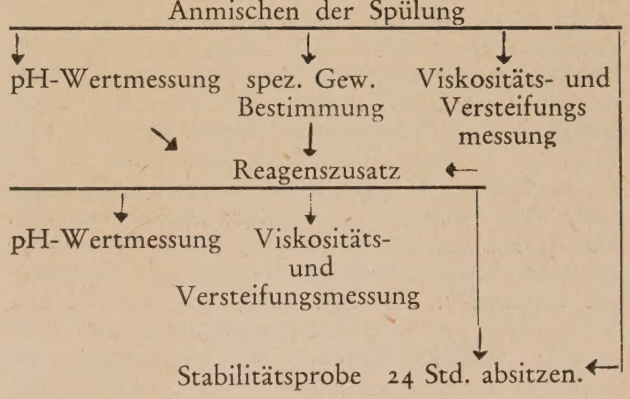

Abb. 1 zeigt den Zusammenhang zwischen dynamischer Viskosität und Konzentration für Bentonit und zwei in ihren Eigenschaften deutlich verschiedenen Tonen. Demnach steigt die Viskosität mit zunehmender Konzentration nicht linear, sondern in höherer Funktion wie es für Emulsoide und Gallerten typisch ist. Die Kurven sind geometrisch ähnlich und erscheinen gegeneinander parallel verschoben. Aus diesem Bilde erhellt, daß man, um möglichst hohe Zähigkeit zu erreichen, Material von der Art des Bentonit verwenden wird. Dabei erreicht man jedoch nur geringes spez. Gewicht in der Spülung. Bentonit wird deshalb nur als zähigkeitserhöhendes Zusatzmittel zur Spülung gebraucht werden. Will man bei möglichst geringer Zähigkeit hohes spez. Gew. erreichen, so wird man Tone nach Art des Alt-

warmbüchener Tons bevorzugen. Es zeigt sich vor allem, daß Aufschlämmungen von Tonen, die das-

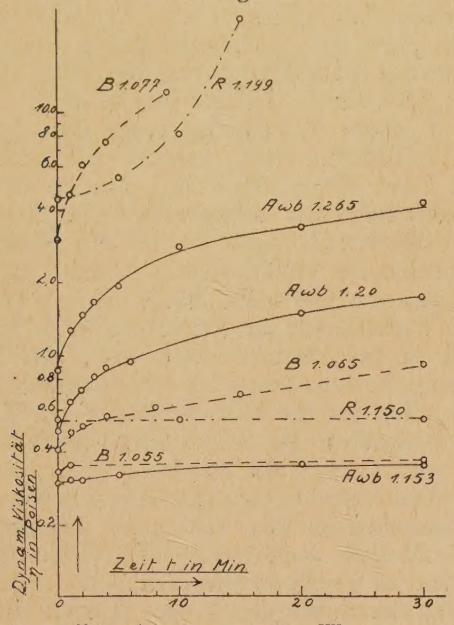

Abb. 5. Versteifungskurven von Ton-Wassersuspensionen.

selbe spezifische Gewicht haben, in ihrer Zähigkeit extrem verschieden sein können. Eine weitere Eigenschaft der Tonwassersuspensionen von großer Wichtigkeit stellen die Kurven in Abb. 5 dar. Sie zeigen die Zunahme der Viskosität mit der Zeit einer ruhenden Dickspülung, die Versteifung. Bei fast jeder Tonwassersuspension steigt mit der Zeit die Viskosität mehr oder weniger stark an. Bewegt man die Suspensionen, so wird diese Versteifung wieder aufgehoben und die Viskosität erreicht wieder ihr Minimum, um bei ruhender Suspension wieder anzusteigen. Man kann diese Erhöhung der dynamischen Viskosität dem Vorhandensein einer Fließfestigkeit, also einer Art Scherfestigkeit der Flüssigkeiten zuschreiben, die von Erk als statische Viskosität bezeichnet wird.[9]) Im versteiften Zustand stellen die Dickspülungen mehr oder weniger pseudoplastische Massen dar. Die Aufhebung der Versteifung durch dynamische Beanspruchungen ist in der Geologie als Thixotropie bekannt[10]). Es liegt nahe, den Zustand der Versteifung auf eine Richtungstendenz der Tonmizelle zurückzuführen. Die Versteifung hat kolloidchemisch außerordentliche Aehnlichkeit mit der Erscheinung der Gelatinierung. Die Tonmizelle haben eine Richtungstendenz, die bewirkt, daß in der Ruhe eine Dispersitätsverringerung eintritt, die mit einer Dehydratisierung verbunden ist. D. h. die einzelnen Tonmizelle treten in der Ruhe infolge einer Richtungstendenz zu gröber dispersen Gebilden zusammen unter gleichzeitiger teilweiser Abscheidung von Wasser, das von diesen gröber dispersen Gebilden umschlossen wird. Beide Anteile des Dispersoids bleiben räumlich und mechanisch eng miteinander verknüpft und bilden eine Struktur von verschiedenem Gehalt an Kolloidstoff. Auf diese Weise entsteht im extremen Fall eine Tongallerte (Suspensoid-Gallerte), die sich von den Gallerten des Gelatine-Typus nur durch mangelnde Elastizität unterscheidet.

Läßt man solche Tonsuspensoid-Gallerten in verschlossener Flasche längere Zeit stehen, so zeigen sie die für die Gallerten typische Erscheinung der Synäresis. Es tritt eine tatsächliche Trennung in einen Teil mit viel Wasser und wenig Kolloidsubstanz und einen Teil mit weniger Wasser und viel Kolloidsubstanz ein. Ueber der an sich stabil bleibenden Tongallerte scheidet sich eine dünne Schicht scheinbar klaren Wassers aus, das nicht aus der Suspension verdampft, sondern von ihr s e z e n i e r t worden ist, ein Serum einer stark verdünnten Kolloidlösung, das alle Bestandteile der ursprünglichen Gallerte in geringer Konzentration enthält. Beim Versteifen durchlaufen Dickspülungen zwischen einem unbeträchtlichen Anwachsen der Viskosität und einem unvermittelten Uebergang vom flüssigen zum plastischen Zustand alle Uebergangsformen, wie überall auf kolloidchemischem Gebiet. Die Versteifungswerte wurden gewonnen, indem die zu untersuchende Spülung in das Viskosimeter gefüllt wurde und entsprechende Zeit ruhig stand. Dann wurde der Viskositätswert in Poisen durch Kugelfall festgestellt. Die Versteifungskurven des Bentonits sind mit B, die des Rauskertons mit R und die des Altwarmbüchener Tons mit Awb bezeichnet. Die beigeschriebenen Zahlen bezeichnen die spez. Gewichte. Aus den Kurven ist ersichtlich, daß die Versteifungsfähigkeit einer Spülung mit der Konzentration festflüssig und damit mit dem Viskositätswert in der Bewegung zunimmt. In geringen Konzentrationen zeigt keiner der 3 Stoffe eine wesentliche Versteifung. Am raschsten nimmt die Versteifung mit steigender Konzentration beim Bentonit, am langsamsten beim Altwarmbüchener Ton zu. Der Rauskerton steht in seinen Zähigkeits- und Versteifungseigenschaften deutlich unterschieden zwischen den beiden anderen Stoffen. Der Bohrtechniker erstrebt im Sinne der Forderung: Höchste Flüssigkeit in der Bewegung, plastisches Verhalten in der Ruhe, eine möglichst große Versteifungsgeschwindigkeit. Demnach müssen Wege gesucht werden, Spülungen mit hohen Versteifungsgeschwindigkeiten herzustellen.

22 *Der Grund für das verschiedene Verhalten der Tone.*

Das durchaus verschiedene Verhalten zweier Tone in wässriger Suspension muß physikalisch oder chemisch begründet sein. Die chemische Analyse gibt keinen ausreichenden Aufschluß über die Verschiedenartigkeit. Vielmehr muß der Grund hierfür auf kolloidchemischem Gebiet gesucht werden. Die starke Verschiedenheit der Zähigkeit spezifisch gleich schwerer Tonsuspensionen läßt auf kolloidchemische Ursachen schließen, da die Viskosität gerade im kolloiden Gebiet ihre Maximalwerte erreicht. Es wurden daher die Korngrößen von Bentonit, Rauskerton und Altwarmbüchener Ton untersucht. Die Bestimmung der Korngrößen erfolgte im Kornfeinheitsmesser nach Andreasen,[11]) Abb. 6. In das Sedimentiergefäß W wird eine Aufschlämmung der zu untersuchenden Substanz in der Konzentration 1 fest : 50 flüssig gegeben und durch Schütteln gleichmäßig verteilt. Der Apparat wird sodann hingestellt und die Teilchen sedimentieren mit einer Fallgeschwindigkeit

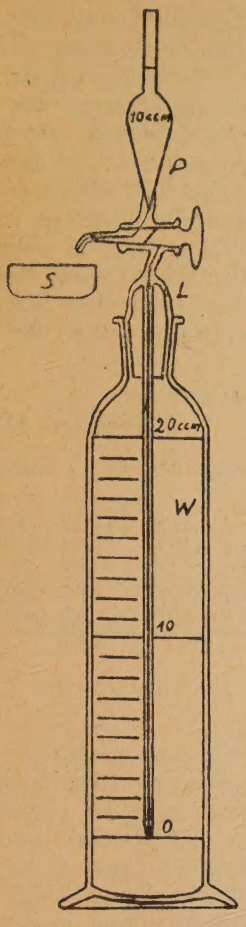

Abb. 6.

Kornfeinheitsmesser nach Andreasen.

aus der Suspension, die nach Stokes direkt proportional ist dem Quadrat ihrer Korngröße, dem Unterschied der spez. Gewichte und umgekehrt proportional der Zähigkeit der Meßflüssigkeit. Zur Verhinderung der Koagulation, die gröbere Teilchen vortäuschen würde, wurde als Schutzkolloid und Peptisator das Reagens „C" zugegeben. Zu bestimmten, der Fallgeschwindigkeit der Korngrößen entsprechenden Zeiten, wird mit der Pipette P eine Probe gezogen. Die Probe wird eingedampft und getrocknet, und durch Wägen wird festgestellt, wieviel Substanz dieser Korngröße proportional vorhanden ist. Trägt man das Ergebnis der Untersuchungen als Siebrückhaltskurve auf (Abb. 7), so erhält man ein übersichtliches Bild über den Dispersitätsgrad. Die durch Kreise bezeichneten Punkte wurden durch Untersuchung im Wiegner-Geßner'schen Schlämmapparat gefunden.[12]) Die Apparatur nach Andreasen erwies sich jedoch in Bezug auf Sedimentationszeit und Einfachheit der Handhabung der Wiegner-Geßnerschen Anordnung völlig überlegen, und besitzt nicht so viele Fehlerquellen. Es zeigt sich, daß die Substanzen von hohem Dispersitätsgrad auch eine höhere Zähigkeit bei gleicher Konzentration zeigen als die Substanzen niederen Dispersitätsgrades. Ferner zeigen die Tone und der tonähnliche Bentonit größere Versteifungsgeschwindigkeiten, je höher dispers sie sind. Demnach ist bei einem natürlich vorliegenden Material die primäre Korngröße in erster Linie maßgeblich für das Verhalten in wässriger Suspension. Beimengungen organischer oder anderer Art wirken erst in zweiter Linie, indem sie die Teilchengröße der Sekundärteile oder Mizelle beeinflussen.

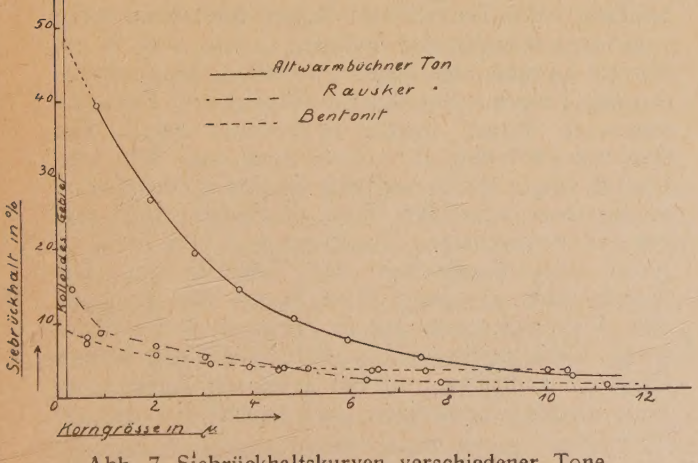

Abb. 7. Siebrückhaltskurven verschiedener Tone.

23. *Künstliche Beeinflussung der Spülung.*

Die beiden Tone, Altwarmbüchener und Rausker Ton wurden in verschiedenen Konzentrationen mit Peptisatoren verflüssigt. Abb. 8. Dabei stellt sich heraus, daß bei Spülungen hoher Konzentration und infolgedessen hoher Zähigkeit nach Anwesenheit einer bestimmten Menge des Verflüssigungsmittels eine rapide Verflüssigung eintritt. Fällt die Konzentration und damit die Viskosität, so tritt diese Verflüssigung nicht mehr so rapid auf, um schließlich bei Spülungen geringer Viskosität nur noch den Bereich von 30 bis 35 Centipoisen zu durchlaufen. Außer Soda

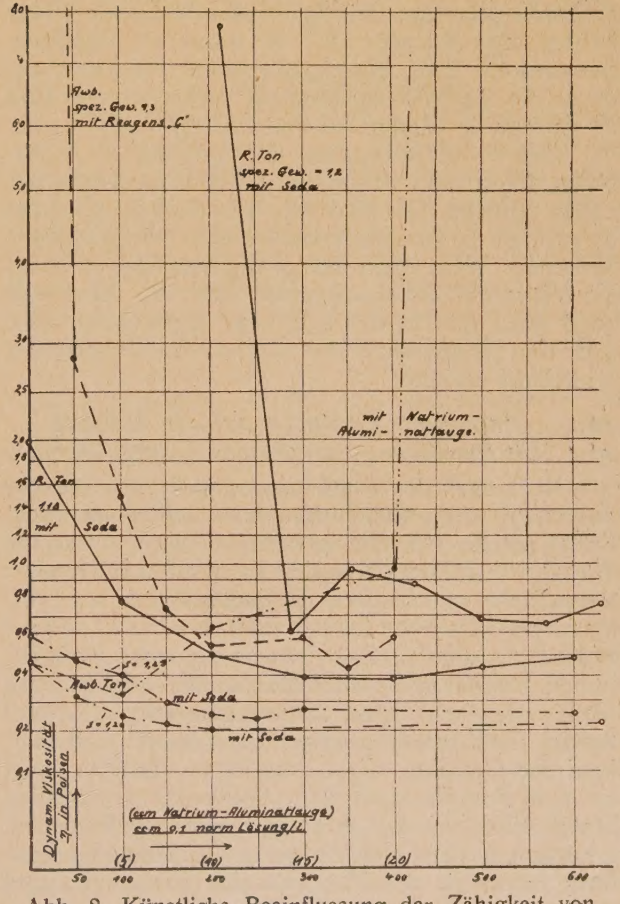

Abb. 8. Künstliche Beeinflussung der Zähigkeit von Spülungen.

wurde noch Wasserglas und ein Reagens benutzt, das hohe stabilisierende Eigenschaften besitzt und in den folgenden Untersuchungen mit „C“ bezeichnet wird. Wasserglas ist zwar von sehr stark verflüssigender Wirkung, doch hält diese Wirkung nicht an. In einiger Zeit werden die mit Wasserglas verflüssigten Spülungen sehr steif, vermutlich infolge von Silikagelbildung. Von dem Reagens „C“ sind, wie das Kurvenbild zeigt, geringere Normalitäten zu einer wirksamen Verflüssigung erforderlich als von Soda. Jede Spülung zeigt ein Optimum der Verflüssigung bei einem bestimmten Gehalt an Verflüssigungsmittel. Wird dieses Optimum überschritten, so kann die Verflüssigung wieder zurückgehen, und zwar unter Umständen sehr stark. Setzt man immer mehr des Verflüssigungsmittels zu, so tritt schließlich ein vollkommenes Ausflocken ein, der geflockte Ton sedimentiert aus der Spülung. Bis zu einem Zusatz von 10 Vol. % einfach normaler Peptisatorlösung wurde eine Zerstörung der Stabilität durch Flockung nicht wahrgenommen. Bei Zugabe von Soda sinkt nicht nur die Viskosität, sondern vor allem die Versteifungsfähigkeit sehr stark*). Das Reagens „C“ hat eine andere Wirkung. Bei steigender Zunahme an Reagens und steigender Verflüssigung, nimmt die Versteifungsfähigkeit zunächst etwas ab, um bei weiterer Zugabe stark zuzunehmen. Wahrscheinlich werden durch die starke Dispergierung beim Verflüssigen, die mit einer bedeutenden Oberflächenvergrößerung verbunden ist, starke Richtungstendenzen aktiviert, die ein schnelles Zusammentreten der dispergierten Teile zu einem gröberen gelartigen Gefüge in der Ruhe zur Folge haben. Das Reagens „C“ ist somit als Verflüssigungsmittel dem Natriumkarbonat vorzuziehen, da es die Versteifungsfähigkeit nicht zerstört und in geringerer Menge bereits wirksam ist.

Um ein Zäherwerden der Spülung zu veranlassen, kann man der Spülung Natrium-Aluminat-Lauge zufügen. Die Natrium-Aluminat-Lauge zeigt in geringeren Konzentrationen eine verflüssigende Wirkung. Wird mehr Lauge hinzugefügt, so steigt die Viskosität außerordentlich stark an. Es wurde auch ohne den in der Literatur angegebenen Zusatz von Aetznatron ein starkes Anwachsen der Viskosität erzielt.

24. Natürliche Einflüsse auf die Spülung.

24 1. Die Einwirkung durchbohrter Gebirgsschichten.

Während des Bohrvorganges durchteuft das Bohrzeug die verschiedensten Gebirgsschichten. Dabei mischt sich das erbohrte Gebirge unter die Spülung und verändert sie. Es kann sich um drei wesentlich verschiedene Beimengungen handeln: inerte, kolloidale und kristalloide Bohrschmandteile. Die inerten oder unwirksamen Schmandteile beeinflussen die Dickspülung nicht chemisch oder kolloidchemisch. Es sind Sande, Sandsteine, sandige Tonschiefer und vulkanische Gesteine. Sie stören in der Spülung, weil sie den Pumpen und dem Spülkopf, sowie allen Metallteilen, mit denen sie in Berührung kommen, erheblichen Verschleiß bringen. Bei ruhender Spülung haben sie die Tendenz sich abzusetzen und können so zu Verstopfungen des Bohrlochs, Festwerden des Bohrzeugs und zum Festwerden der Rohre beim Verrohren führen. Sie müssen daher unbedingt wirksam aus der Spülung entfernt werden, wenn man nicht die Spülung jeweils, wenn sie eine Zeit lang das Bohrloch passiert und sich mit inertem Bohrschmand beladen hat, völlig erneuern will. Die inerten Bestandteile kommen in allen Korngrößen im Bohrschmand vor, je nach dem Bohrverfahren und der Primärkorngröße des durchteuften Gesteins. Die beiden folgenden Siebanalysen von Bohrdetritus (Bohrklein) weisen Beispiele nach.

Siebanalysen von Bohrdetritus.
Oklahoma Bohrschmand. Bohranlage H.

Korngröße mm	Anfall %	Anfall Σ%
+1,17	27,01	27,01
1,17—0,83	21,31	48,32
0,83—0,59	18,25	66,57
0,59—0,42	7,59	74,16
0,42—0,30	5,58	79,74
0,30—0,21	5,68	85,42
0,21—0,15	7,06	92,48
—0,15	7,52	100,00
	100,00	

Korngröße mm	Anfall %	Anfall Σ%
+0,22	6,8	6,8
0,22—0,125	26,9	33,7
0,125—0,087	49,0	82,7
0,087—0,075	11,3	94,0
—0,075	6,0	100,0
	100,0	

Je feiner die inerten Bestandteile sind, desto unangenehmer werden sie, da sie sich dann nur noch schwierig aus der Spülung entfernen lassen. Beim Durchteufen von Lehm, Ton, Schieferton und Mergel gelangen kolloide Beimischungen in die Spülung, die z. T. von der Dickspülung aufgeschlämmt werden, so daß die Dickspülung immer zäher wird. Bohrt man in solchen Schichten mit klarem Wasser, so erhält man unter Umständen eine selbstgängige Dickspülung. Wird auf diese Weise die Spülung zu zäh, so müssen geeignete Mittel zur Herabsetzung der Zähigkeit angewendet werden. Mergelige Kalksteine, Mergel, Tonschiefer und Schiefertone bilden bei der Durchbohrung die Uebergänge zwischen kolloidalem und inertem Bohrschmand.

Schließlich können kristalloide Bestandteile während des Bohrens zur Spülung treten, wenn Salz- und Kalilagerstätten durchteuft werden. Es kann sich dann sowohl festes Salz als auch Lauge unter die Spülung mischen. Es ist die Frage, ob dadurch die Tonteile in der Spülung koaguliert werden und ausflocken, oder ob die Spülung stabil bleibt. Um die Frage zu beantworten, wie sich die Spülung beim Zutritt von Salzen oder Salzlaugen verändert, wurden der Spülung 5 — 20 Vol. % gesättigte Laugen von Magnesiumsulfat, Magnesiumchlorid, Kaliumsulfat, Kaliumchlorid und Kochsalz zugesetzt, ferner jeweils 10 g festes Salz/l. Die Spülung verändert ihre Konsistenz und ihre Viskosität zeigte wohl auch die Synäresis, das Sezernieren einer wässrigen Phase deutlicher, doch trat bei den beobachteten Zusatzmengen von Elektrolyten kein Ausflocken der Tonteile ein. Die Kurve, Abb. 9*), zeigt beim Zusatz von Kochsalz eine Viskositätsänderung in Form einer Verflüssigung. Gleichzeitig wird zunächst die Versteifungsfähigkeit gedrückt, um bei größeren Zusatzmengen wieder anzusteigen und noch die der ur-

*) Die betreffende Kurvenstellung mußte infolge Raummangel weggelassen werden.

*) Eine zweite Kurve mußte wegen Raummangel gleichfalls ausfallen.

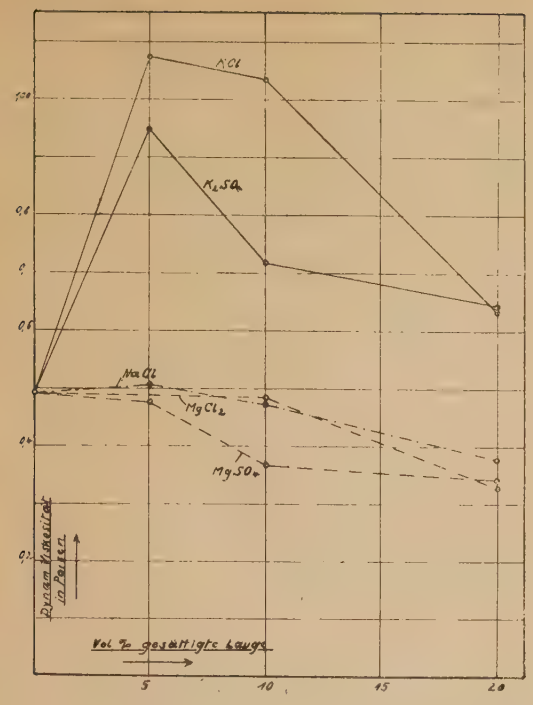

Abb. 9. Einfluß von Elektrolyten auf die Zähigkeit.

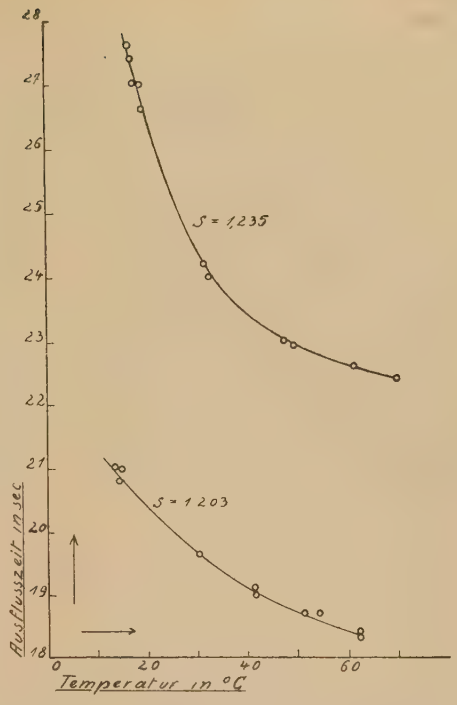

Abb. 10. Viskosität und Temperatur.

sprünglichen Spülung zu übersteigen. Stärker ist die Verflüssigung beim Hinzufügen von Magnesiumsalzen und zwar energischer beim Sulfat als beim Chlorid. Das Mg-Jon zerstört jedoch völlig die versteifenden Fähigkeiten einer Spülung. Kalisalze verursachen in geringerer Menge eine erhebliche Viskositätserhöhung, das Chlorid stärker als das Sulfat. Eine über Tage beobachtete Veränderung der Viskosität kann daher von Salzvorkommen herrühren oder durch salzhaltige Wässer verursacht sein. Der Bohrschmand muß dann genau auf größere Stücke ungelösten Salzes untersucht werden. Ueber die Strukturveränderungen in der Dickspülung, die durch die Aenderung der Viskosität angedeutet werden, wurde bereits oben gesprochen.

24 2. Der Einfluß der Temperatur auf die Spülung.

Alle Flüssigkeiten, kolloid- und molekular-disperse Lösungen, zeigen bei steigender Temperatur eine Viskositätsverminderung. Man muß in tiefen Bohrlöchern, je nach der geothermischen Tiefenstufe mit hohen Temperaturen rechnen, bei 1000 Meter Teufe 35 — 65° C, so daß es interessiert, zu erfahren, wie die Dickspülung sich bei höherer Temperatur bezüglich ihrer Viskosität verhält.

Es wurden daher 2 Spülungen verschiedener Konzentration im Trichterviskosimeter bei steigender Temperatur untersucht. Das Trichterviskosimeter wurde zu diesem Zweck mit einem Mantel umgeben, in dem warmes Wasser zirkulierte. Die Kurvenabbildung, Abb. 10, zeigt das Ergebnis. Die Viskosität fällt, wie es zu erwarten war, mit steigender Temperatur. Bei der Spülung vom spez. Gew. s = 1,235 fällt anfangs die Viskosität sehr rasch, um bei höheren Temperaturen langsamer zu fallen, während das bei der Spülung vom spez. Gew. 1,203 nicht so ausgeprägt der Fall ist. Das fügt sich dem Strukturbild der Dickspülung ein. Je mehr man sich vom Gebiet niederer Konzentration, dem Hydrosolzustand, dem Gebiet höherer Konzentration, dem Hydrogelzustand der Dickspülung nähert, desto deutlicher wird die Temperaturanomalie. Es handelt sich dabei nicht um sprungartige, dem Schmelzprozeß ähnliche Veränderungen der Viskosität, sondern um eine stetige Viskositätsabnahme. Diese stetige Viskositätsabnahme ist bei höherer Konzentration jedoch bedeutend größer, als die des Dispersionsmittels Wasser. Im Kugelfallviskosimeter wurden keine Ergebnisse erzielt, da Wärmeströmungen den Kugelfall störten.

25. Die Schwerspülung.

Man könnte daran denken, als Schwerspülung eine Aufschlämmung des Schwerematerials mit Wasser zu benutzen. Das Schwerematerial müßte jedoch dann so fein aufgemahlen werden, daß es kolloide Dimensionen erreicht. Eine derart feine Vermahlung stellt sich sehr teuer. Man trägt daher bei der Herstellung von Schwerspülungen das schwere Material in eine Tonsuspension ein, so daß die Tonmizelle die Schwere-Körnchen umlagern und einbetten und so in Schwebe halten. Als Schwerematerial wurden fein aufgemahlener Hämatit und Baryt benutzt. Das spez. Gewicht beider Substanzen liegt bei 4,5. Hämatit kann seiner guten elektrischen Leitfähigkeit zufolge zu elektrolytischen Korrosionen des Gestänges und der Bohrrohre führen. Außerdem färbt Hämatit die Spülung kakaobraun, was das Erkennen von Oelspuren in der Spülung erschwert. Da der Hämatit keinen wesentlichen Vorteil bezüglich des spez. Gewichts bringt, wurde nur mit Baryt als Schweremittel gearbeitet. Um einen Ueberblick über die Mischungsverhältnisse zu gewinnen, kann man das ternäre System Baryt-Ton-Wasser in Dreieckskoordinaten auftragen. Jede Ecke des Dreiecks (Abb. 11) bezeichnet 100 % je eines Stoffes. An jeder Ecke wird senkrecht zur Dreiecksseite das spez. Gewicht des betreffenden Stoffes aufgetragen und die so erhaltenen Punkte miteinander verbunden. Die Dreiecksfläche stellt jetzt eine Ebene dar, die sämtliche möglichen Mischungsverhältnisse

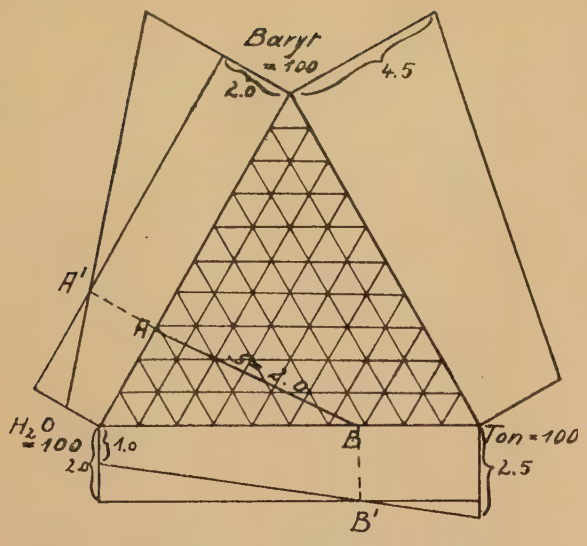

Abb. 11. Ternäres System Ton-Baryt-Wasser in Dreieckkoordinaten.

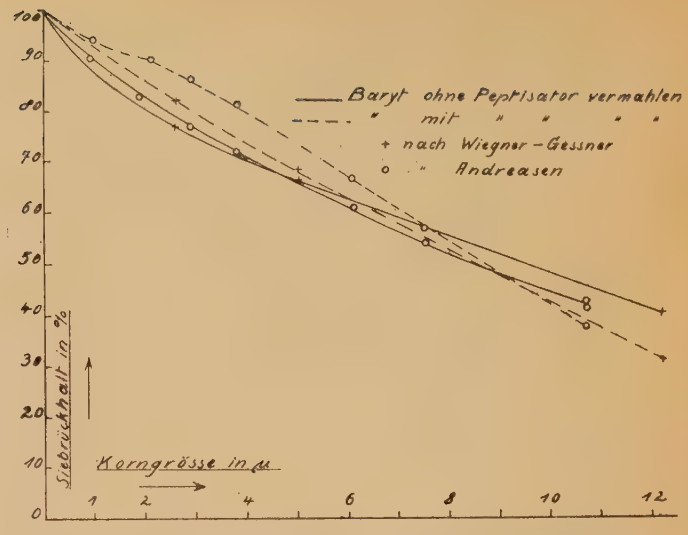

Abb. 12. Siebrückhaltskurven von fein aufgemahlenem Baryt.

vom spez. Gew. 1,0 — 4,4 umfaßt, während die Geraden über den Dreiecksseiten die drei binären Systeme Ton-Wasser, Wasser-Baryt und Baryt-Ton darstellen. Will man die möglichen Mischungsverhältnisse für ein bestimmtes spez. Gewicht (2,0) haben, so zieht man im Abstand dieses spez. Gewichts maßstäblich Parallelen zu den Dreieckseiten, die die Geraden der binären Systeme in den Punkten A' und B' schneiden. Diese Punkte A' und B' werden auf die Dreiecksseiten heruntergelotet. Man erhält so die Punkte A und B, die, miteinander verbunden, die Mischungsgerade für das gewünschte spez. Gewicht ergeben. Jeder Punkt dieser Geraden bezeichnet durch seine senkrechten Abstände von den Dreiecksseiten die Volumenprozente der zu mischenden Stoffe. Man kann die Punkte, in denen die Mischungsgerade die Dreiecksseiten schneidet, auch durch Rechnung aus der allgemeinen Mischformel erhalten.

Zunächst wurde in der Kugelmühle trocken aufgemahlener Baryt zur Herstellung der Spülung verwendet, der folgende Kornzusammensetzung hatte:

Korngröße in mm	Siebrückhalt in %	Σ %
+0,22	0,54	0,54
0,22 —0,125	11,54	12,08
0,125—0,087	16,92	29,00
0,087—0,075	7,19	36,19
—0,075	63,81	100,00
	100,00	

Um dieses Material völlig in Schwebe zu halten, waren die erforderlichen Tonmengen zu groß, so daß die Spülung insgesamt zu zäh ausfiel. Daher wurde zur Naßvermahlung des Baryts in der birnenförmigen Weiningmühle übergegangen. Die Korngröße des naßvermahlenen Baryts wurde mit dem Wiegner-Geßner'schen Schlämmapparat und mit dem Kornfeinheitsmesser nach Andreasen bestimmt. Die Kurve Abb. 12 zeigt das Ergebnis als Siebrückhaltskurve. Eine nasse Siebanalyse zeigte, daß 97,1 % des naßvermahlenen Baryts unter 75 µ lagen. Es stellte sich weiter heraus, daß ein Trocknen nach dem Aufmahlen ungünstig wirkte. Spülungen, die mit trockenem feingemahlenem Baryt angesetzt wurden, waren durchweg zähflüssiger als solche, bei denen der Baryt im feuchten Zustande zugesetzt wurde. Wahrscheinlich treten beim Trocknen feine Teilchen des Baryts zu gröberen Aggregaten zusammen, die durch einfaches Aufschlämmen in Dickspülungen nicht mehr auseinander gerissen werden, sondern erst beim Zusatz eines Peptisationsmittels. Es muß weiteren Untersuchungen überlassen bleiben, ob man durch Zusatz eines Peptisators beim Naßvermahlen des Baryts eine feinere Vermahlung erreichen kann. Eine Vermahlung unter Zusatz von Reagens „C" führte nicht zu dem gewünschten Erfolg. Es entsteht die Frage, was für ein Ton für Schwerspülungen geeignet sei und welche Mischungsverhältnisse am besten gewählt werden. Nimmt man besser einen Ton, der bereits in geringen Konzentrationen hohe Zähigkeit besitzt oder umgekehrt einen Ton, der bei hoher Konzentration und dabei hohem spez. Gewicht noch flüssig ist. Um bei der Schwerspülung ein hohes Gewicht zu erreichen und die Spülung möglichst dünnflüssig zu behalten, wird man zweckmäßig einen Ton vom zweiten Typus den Vorzug geben. Im Interesse einer möglichst geringen Viskosität wird man zunächst geneigt sein, mit möglichst wenig Ton in der Schwerspülung auszukommen, so daß die Barytteilchen gerade noch in Schwebe gehalten werden. Das ist aber aus wirtschaftlichen Gründen nicht ratsam. Der Baryt wird infolge seiner feinen Aufmahlung immer bedeutend teurer sein als der Ton. Man muß daher bestrebt sein, möglichst viel Ton in der Schwerspülung zu haben, um mit weniger Baryt auszukommen. Dabei werden die Spülungen sehr zäh. Diese Zähigkeit läßt sich jedoch ohne Schwierigkeiten durch die Zugabe von Peptisatoren herunterdrücken. Durch dieses Verfahren erhält man völlig stabile Schwerspülungen. Im einzelnen wird es immer von den Transportverhältnissen abhängen, welches Material greifbar ist. In den Kurven Abb. 13 sind die Eigenschaften von Schwerspülungen mit einem hochdispersen (Rausker Ton) und einem weniger hochdispersen Ton (Altwarmbüchener) dargestellt. Der hochdisperse Rausker Blauton ist dabei mit 13 Vol. %, der Altwarmbüchener Ton mit 10 Vol. % vertreten. Die

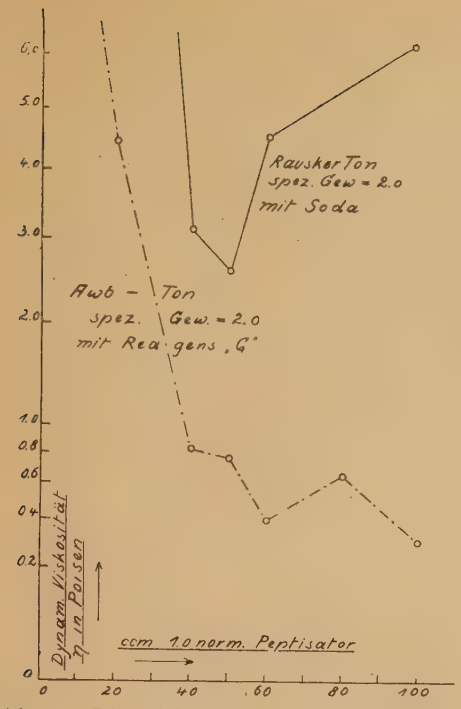

Abb. 13. Die Viskosität von Schwerspülungen.

Kurve zeigt das Verhalten beim Verflüssigen mit Soda. Soda als Peptisator ist für Schwerspülungen höchst ungeeignet, da bereits bei geringen Aenderungen der Normalität außergewöhnlich große Zähigkeitsunterschiede auftreten. Wesentlich gleichmäßiger gestaltet sich die Verflüssigung mit dem Reagens „C", das außer seiner peptisierenden Wirkung noch den Vorteil hat, als Schutzkolloid zu wirken und das ternäre System Baryt-Ton-Wasser zu stabilisieren. Ueber die Notwendigkeit der Schwerspülung ist im Schrifttum bereits ausgiebig berichtet worden[14 15 16]). Sie bietet einen vorzüglichen Schutz gegen Gas- und Oeleruptionen in gasreichen Horizonten und sollte immer angewendet werden, wenn sich die Bohrung Schichten nähert, die als Gasträger bekannt sind. Die Schwerspülungen zeigen ebenfalls wie die Dickspülungen die Eigenschaft der Versteifung*).

Die aus den Untersuchungen gewonnenen Richtlinien.

31. Das Aufbereiten und Zubereiten der Komponenten und das Anmischen der Spülung.

Ist das Bohrloch in bezug auf die Dickspülung selbstgängig, d. h. bohrt man in Tonen oder sonst für die Erreichung geeigneter Spülung brauchbaren Materials, so bereitet das Anmischen der Spülung keinerlei Schwierigkeiten. Zum Herstellen von Dickspülungen ist es zunächst erforderlich zu wissen, welche Zähigkeit und welches spez. Gewicht man erreichen will. Es wird dafür zweckmäßig in einem Vorversuch die Viskositäts-Konzentrationskurve des betreffenden Tones festgestellt. Hat man mehrere Tone zur Auswahl, so ist dem Ton der Vorzug zu geben, der die größere Kornfeinheit aufweist, da dieser Ton die höchste Stabilität und die besten Versteifungseigenschaften zeigen wird. Kaoline sind in ungeschlämmtem Zustande für die Herstellung von Dickspülung ungeeignet, da sie stark mit Quarzkörnern verunreinigt sind. Genügt die Stabilität eines Tones nicht, so daß im Verlauf von 24 Std. eine Sedimentation von Tonteilchen bei ruhigem Stehen stattfindet, so muß in geeigneter Menge ein als Schutzkolloid wirkender Stoff hinzugefügt werden, der die Stabilität herstellt. Ist andererseits bei gewünschtem spez. Gewicht die Zähigkeit der Spülung zu hoch, so muß in zu ermittelnder Menge ein Peptisator hinzugefügt werden, der die erforderliche Verflüssigung bewirkt. Besonders dafür geeignet ist das Reagens „C", das neben der verflüssigenden Wirkung gleichzeitig stabilisierend wirkt und die Versteifungsfähigkeit der Spülung nicht zerstört. Liegt das spez. Gewicht der Spülung und die Zusatzmittel fest, so errechnet sich die erforderliche Wassermenge aus der allgemeinen Mischformel: Aus dem vom Verfasser

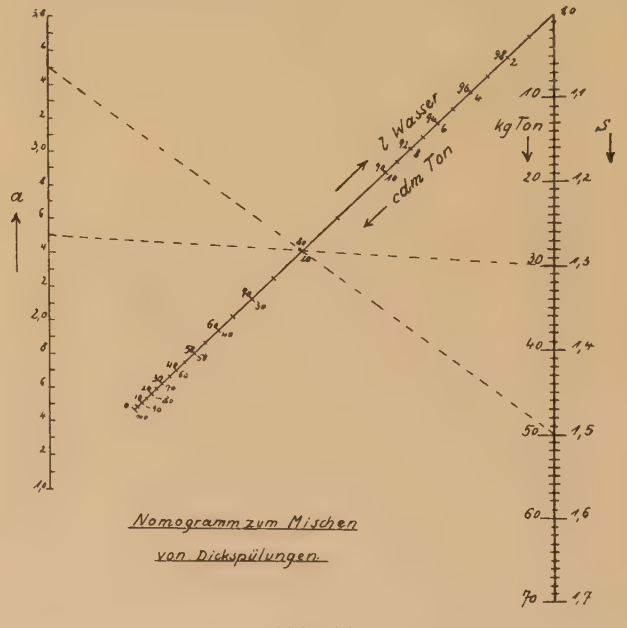

Abb. 14

konstruierten Nomogramm können die zu mischenden Komponenten direkt abgelesen werden. Abb. 14. Die rechte Skala stellt das gewünschte spez. Gewicht der Spülung dar (s). Die linke Skala bezeichnet das spez. Gew. des zur Spülung verwendeten Tons (a). Will man z. B. aus einem Ton vom spez. Gew. 2,5 eine Spülung vom spez. Gewicht 1,3 herstellen, so verbindet man den Punkt 1,3 der rechten Skala mit dem Punkt 2,5 der linken Skala und liest die erforderliche Wassermenge in Litern auf der schrägen mittleren Skala ab (80 Liter). Den auf der mittleren Skala gefundenen Punkt (80) verbindet man jetzt mit einem Punkt der linken Skala, der dem um 1,0 vergrößerten spez. Gewicht des Tones entspricht (2,5 + 1 = 3,5). Diese Gerade schneidet die rechte Skala in einem neuen Punkt, der den dem Wasser beizumischenden Ton in Kilogramm angibt (50 kg). Das Anmischen des Tons kann in einem Rührwerk geschehen. In einem Behälter sind 2 mit Stäben besetzte Rührflügel gegenläufig angebracht. Die gegenläufige Bewegung wird durch Kegelräder und durch eine durchbohrte Welle bewerkstelligt. Die gegenläufige Bewegung der Rührflügel ist zum Mischen zäher Substanzen notwendig, damit die Flüssigkeit nicht an der Bewe-

*) Die dazugehörige Kurve mußte leider entfallen.

gung der Rührflügel teilnimmt[17]). Es genügt das Rührwerk für einen Fassungsraum von 1 — 2 cbm zu dimensionieren. Bei einem Durchmesser von 1 Meter und einer Tourenzahl von 200 bis 250 Umdr./min. wird in kurzer Zeit eine ausreichende Mischung von Ton und Wasser erreicht. Es ist jedoch eine Vorzerkleinerung der Tonbrocken von Hand auf etwa 4 cm erforderlich. Bei Tonen, die reichlich grobe Verunreinigungen — Sand, Kies, Grasnarbe — enthalten, empfiehlt sich die Absiebung auf einem Vibrator.

Das spez. Gewicht a des Tones wird mittels folgender Methode bestimmt. Man stellt sich eine dünne Aufschlämmung des zu untersuchenden Tons her, nachdem man ihn von den groben Verunreinigungen befreit hat. Mittels Pyknometer wird das spez. Gew. γ dieser Aufschlämmung bestimmt. Darauf entleert man das Pyknometer in eine Schale und bestimmt den Wassergehalt W der Aufschlämmung durch Trocknen bei 120° bis zur Gewichtskonstanz in Gewichtsprozenten. Das wahre spez. Gewicht des Tones ist dann

$$a = \frac{(100 - W)\gamma}{100 - W\gamma}$$

Feuchter Ton hat immer ein geringeres spez. Gewicht infolge seines Wassergehaltes. Diese Bestimmungsart ist die genaueste. Es empfiehlt sich nicht, das spez. Gewicht eines Tones nach der Eintauchmethode unter einer indifferenten Flüssigkeit (Xylol) zu bestimmen. Die eingetauchten Tonkörperchen werden nie ganz frei von Luftblasen oder größeren Luft- oder Fremdkörper-Einschlüssen sein, die erhebliche Fehler verursachen. Es empfiehlt sich eine zähe Tonaufschlämmung als Vorratsspülung herzustellen, die man nach den jeweils erforderlichen Verhältnissen mit Wasser verdünnen kann. Der Ton hat auf diese Weise genügend Zeit, sich zu hydratisieren und die Mischung geht dann schnell und leicht von statten. Handelt es sich um die zentrale Versorgung eines großen Bohrreviers mit Dickspülung, so müssen Tankanlagen für die Stapelung der Spülung angelegt werden[16]).

32. *Die Überwachung der Spülung im Betrieb und Laboratorium.*

Ist die Spülung einmal dem Betrieb übergeben, so ist es unbedingtes Erfordernis eines sachgemäß arbeitenden Betriebs die Dickspülung genau zu überwachen, um aus den Veränderungen der Spülung Wasser- oder Laugenzutritt, größere Klüfte und die Art des durchbohrten Gebirges insbes. öl- oder gasführende Schichten zu erkennen. Eine laufende Betriebsüberwachung ermöglicht es, Veränderungen der Spülung, die Gefahren für den ungestörten Bohrbetrieb oder Leistungsminderungen mit sich bringen, rechtzeitig zu erkennen. Die Ueberwachung hat sich auf folgende Merkmale zu richten:

1) Oelspuren und Gasblasen
2) Bohrschmand
3) Spülmenge
4) spez. Gewicht der Spülung
5) Zähigkeit der Spülung.

32 1. **Oelspuren und Gasblasen** sind äußerlich in der Spülung zu erkennen. Sie kennzeichnen unter Berücksichtigung der Zeit, die die Spülung braucht, um zur Tagesoberfläche zu gelangen, öl- und gastragende Schichten. Treten Gasblasen in der Spülung auf, so muß für ihre Entfernung Sorge getragen werden. Bleiben die Gasblasen in der Spülung und reichert sich die Spülung damit an, so wird ihr spez. Gew. vermindert und es kann der Fall eintreten, daß der hydrostatische Druck der Spülung nicht mehr imstande ist, dem auf der Bohrlochsohle vorhandenen Gasdruck das Gleichgewicht zu halten. Dann wird die gesamte Spülung ausgeblasen. Das bedeutet nicht nur einen empfindlichen Spülverlust und eine unangenehme Betriebsstörung, sondern auch einen Druckverlust in der Oellagerstätte. Ein solcher Druckverlust muß im Interesse der langen Lebensdauer einer selbsttätig produzierenden Sonde unbedingt vermieden werden. Es ist von Fall zu Fall zu entscheiden, ob außer der Entfernung der Gasblasen noch eine Erhöhung des spez. Gewichts der Spülung, der Uebergang zu einer Schwerspülung erforderlich wird. Um den Gasblasen das Entweichen aus der Spülung zu erleichtern, muß die Viskosität einer vergasten Spülung möglichst niedrig gehalten werden, was durch Anwendung von Peptisatoren erreicht werden kann.

32 2. Die Ueberwachung des **Bohrschmandes** die besonders gut durch Einschalten eines Vibratorsiebes durchzuführen ist, gestattet es, unter der oben bereits erwähnten Vorsicht, ein Bohrprofil der durchteuften Schichten aufzustellen. Die Bohrschmandproben müssen in bestimmten Zeitabschnitten regelmäßig genommen und sorgfältig ausgewaschen werden.

32 3. Eine Vermehrung der **Spülmenge** zeigt einen Wasser- oder Laugenzufluß zum Bohrloch an. Sinkt dabei gleichzeitig Viskosität und spez. Gewicht, so handelt es sich um einen reinen Wasserzufluß. Steigert sich die Viskosität, so kann ein Laugenzufluß vorliegen. Eine Verminderung der Spülmenge, Spülungsverlust, deutet auf grobklüftiges oder kavernöses Gebirge und es muß durch geeignete Regulierung der Zähigkeit versucht werden, die Klüfte abzudichten.

32 4. Ein wichtiges Auskunftsmittel für die Beschaffenheit der Bohrtrübe stellt ihr **spez. Gewicht** dar. Es wird genau bestimmt durch Wägen mittels Pyknometer oder roh durch Abwägen eines Liters der Spülung. Eine Bestimmung mittels Aräometer ist nicht möglich. Jede Dickspülung erhöht bei ruhigem Stehen im Vorrats- oder Absetzbecken ihre Viskosität und ihre Oberflächenspannung. Dadurch werden die Aräometer am Einsinken verhindert und eine Messung unmöglich gemacht. Um das spez. Gewicht laufend zu überwachen, kann folgende Einrichtung angebracht werden[16]): Ein Teil der aus dem Bohrloch kommenden Spülung wird einem Gefäß mit bekanntem Volumen zugeführt, das an einer Federwage aufgehängt ist. Ein Zeiger zeigt auf einer Registriertrommel fortlaufend das spez. Gewicht an. Das Gefäß muß oben mit einem Sieb versehen sein, das grobe Verunreinigungen zurückhält. Bei der spez. Gewichtskontrolle muß, um Fehler zu vermeiden, darauf geachtet werden, daß die ver-

wendeten Gefäße und Wagen immer sauber gehalten werden.

Es sind noch verschiedene andere Geräte zur selbsttätigen Registrierung des spez. Gewichts konstruiert worden, die teils auf dem Aräometer-Prinzip, teils auf dem hydrostatischen Druck beruhen, der auf eine im Vorratsbehälter in immer gleicher Tiefe befindliche elastische Membran ausgeübt wird[18]). Wegen der Eigenschaft der Versteifung der Dickspülung scheinen mir diese Konstruktionen keinen Erfolg zu versprechen. Durch Beobachtung des spez. Gewichts lassen sich Wasser- und Laugenzuflüsse und ein Vergasen der Spülung feststellen (Verminderung). Erhöht sich das spez. Gewicht der Spülung, so kann ein Bohren in tonigem Material die Ursache sein. Die Beschaffenheit des Bohrschmands und die Beobachtung der Viskosität geben darüber weiteren Aufschluß. Bohrt man in tonigen Schichten, so genügt die Ueberwachung des spez. Gewichts allein nicht, um die Anreicherung an Ton in der Spülung zu beobachten. Während sich das spez. Gewicht nur wenig erhöht, kann die Zähigkeit einer Spülung durch Tonaufnahme so stark ansteigen, daß die Spülung ungenügend zum weiteren Gebrauch wird. Das spez. Gewicht muß je nach dem zu durchteufenden Gebirge und dem im Bohrloch etwa herrschenden oder zu erwartenden Gasdruck reguliert werden und sollte wegen der Aufwärtsförderung des Bohrschmands niemals unter 1,20 fallen.

325. Der wichtigste und bisher in der Rotary-Bohrtechnik am wenigsten kontrollierte Indikator für die Zustandsänderungen in der Spülung ist ihre Zähigkeit oder Viskosität. Die Unachtsamkeit geht dabei so weit, daß diese Eigenschaft mit dem spez. Gewicht verwechselt wird[18]). Am besten eignet sich zu ihrer Ueberwachung und gleichzeitig zur Beobachtung der Versteifung das Kugelfallviskosimeter. Für die rohe Messung im Feld mag das bekannte Trichterviskosimeter genügen. Dieses Instrument muß durch Vergleich mit einem Kugelfallviskosimeter geeicht werden. Eine ausgeführte Eichung ergab für die dynamische Zähigkeit η die Gleichung:

$$\eta = \frac{(t-b)\,\sigma}{a}$$

a und b sind Konstanten, t bezeichnet die Ausflußzeit aus dem Trichterviskosimeter in Sekunden, σ das spez. Gewicht der Spülung. Die Meßgenauigkeit beträgt etwa 5 Centipoisen. Man gibt dem Instrument zweckmäßig ein Eichnomogramm mit. Abb. 15, aus dem die Zähigkeit in Centipoisen direkt abgelesen werden kann. Z. B. ist für eine Spülung von spez. Gewicht 1,3 und der Ausflußzeit 26 sec. die dynamische Zähigkeit η gleich 60 Centipoisen.

Die Viskosität reagiert sehr deutlich auf Zustandsänderungen der Dickspülung. Viskositätserhöhungen zeigen bei gleichzeitig steigendem spez. Gewicht beim Bohren in Tonen die Anreicherung an tonigem Material an. Beim Bohren in Salzlagerstätten kann eine Erhöhung der Viskosität bei fallendem spez. Gewicht eintreten, indem sich unter Einwirkung des Salzes eine Verschiebung nach dem Koagelzustand vollzieht. In beiden Fällen müssen, wenn die Viskosität stark ansteigt, Gegenmaßnahmen getroffen werden, damit kein unnötiger Kraftverbrauch an den Pumpen eintritt und die Spülung die Fähigkeit behält, in die Bohrlochwand einzudringen und diese zu verfestigen. Eine Verminderung der Viskosität wird meist durch Wasserzufluß verursacht. Die dynamische Zähigkeit der Dickspülung sollte stets zwischen 20 und 60 Centipoisen gehalten werden. Beobachtet der Bohrmeister mit dem Trichterviskosimeter eine Veränderung der Viskosität, so empfiehlt es sich im Laboratorium eine genauere Viskositätsmessung anzustellen.

Die regelmäßige Beobachtung des pH-Wertes in der Spülung führte zu keinem Erfolg. Während bei Trüben aus Rausker Ton bei Elektrolytzugabe eine Veränderung des pH-Wertes beobachtet wurde, zeigten Spülungen aus Altwarmbüchener

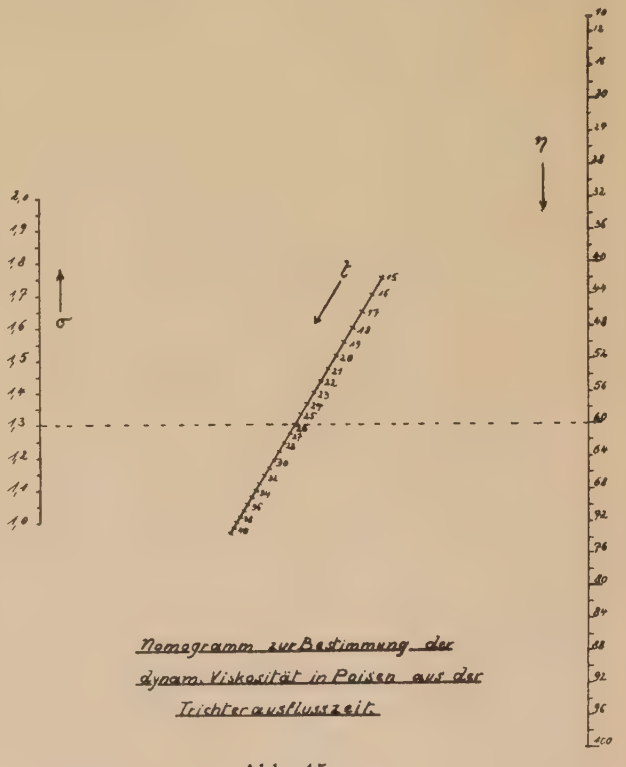

Abb. 15.

Ton keine Aenderung des pH-Wertes, trotzdem sich die Struktur der Spülung grundlegend veränderte. Das ist damit zu erklären, daß der Altwarmbüchener Ton Substanzen enthält (Humine), die einer stetigen Aenderung des pH-Wertes Widerstand entgegensetzen, sogenannte Puffersubstanzen. Jedenfalls gibt eine Ueberwachung der Wasserstoffionenkonzentration nicht in allen Fällen Aufschluß. Alle erwähnten Faktoren, vor allem die Beschaffenheit des Bohrschmands, spez. Gewicht und Viskosität setzen den überwachenden Ingenieur in die Lage, sich ein möglichst vollständiges Bild von den Vorgängen auf der Bohrlochsohle zu machen und seine Maßnahmen dementsprechend zu treffen.

33. Die Regeneration unbrauchbar gewordener Spülungen.

Die Dickspülung kann durch verschiedene Ursachen für den Bohrbetrieb unbrauchbar werden.

Vermindert sich ihr Gewicht und ihre Zähigkeit durch Wasserzufluß oder Elektrolyteinwirkung, so kann dem durch weiteres Hinzufügen von Ton abgeholfen werden bis gewünschtes spez. Gewicht und Zähigkeit wieder erreicht sind, oder die Spülung kann auf Dorr-Eindickern von dem überflüssigen Wasser befreit werden. Steigt das spez. Gewicht und die Zähigkeit stark durch Bohren in Tonen, so kann man die Zähigkeit mittels Peptisatoren niedrig halten, bis ein bestimmtes spez. Gewicht erreicht ist (1,3 — 1,4), dann muß Wasserzugabe erfolgen, um die Spülung flüssig zu erhalten. Vergaste Spülungen können in Gasabscheidern von den Gasblasen befreit werden, indem man die Spülung auf Prallbretter fallen läßt. Die schlimmsten Schädlinge in der Spülung stellen die inerten Bohrschmandteile dar, die sich beim Bohren in Sanden, Sandsteinen, Kalken und ähnlichem Gebirge bilden. Sie müssen unbedingt aus der Spülung entfernt werden, da sie einen starken Verschleiß von Rohrleitungen, Gestänge und Spülpumpen verursachen und Gefahren beim Verrohren des Bohrlochs mit sich bringen. Feiner sandiger Bohrschmand kann, falls er nicht aus der Spülung entfernt wird, beim Verrohren die Rohre festwerden lassen, so daß sie nicht mehr tiefer gehen. Je feiner der Bohrschmand ist, um so schwieriger ist seine wirksame Entfernung aus der Spülung. Für die Reinigung von inertem Bohrschmand gibt es 4 Wege:

1. Absetzenlassen in Gerinnen und Setzbassins,
2. Verdünnen der Dickspülung mit Wasser — — Absetzenlassen in Setzbassins — Wiedereindicken der gereinigten Spülung,
3. Absieben des Schmands aus der Spülung,
4. Zentrifugieren der Spülung.

33 1. Die einfachste und primitivste Methode ist das Absetzenlassen des Bohrkleins in Gerinnen und Klärbassins. In den Klärbassins verringert sich die Geschwindigkeit des Spülstromes, dadurch kommen die Sandteile zum Ausfallen. Es tritt jedoch gleichzeitig eine Versteifung der Spülung besonders an der Oberfläche ein, so daß Sandkörnchen bis zu 0,3 cm während des Aufenthaltes der Spülung in den Setzbassins nicht sedimentieren, sondern von der versteiften Spülung festgehalten werden[19]). Diese Methode ist daher unvollkommen und für einen neuzeitlichen Betrieb zu verwerfen, da sie keine restlose Entfernung des Schmandes aus der Spülung gewährleistet.

33 2. Um das Versteifen der Spülung in den Setzgräben zu verhindern, kann man die vom Bohrloch kommende mit Bohrschmand beladene Trübe in einem Rührwerk mit Klarwasser versetzen[18]). Dann läßt die Spülung ihre Verunreinigungen fallen, ist jedoch für weiteren Gebrauch zu stark mit Wasser verdünnt. Sie muß von den Klärbassins einem Dorreindicker zugeführt werden, in dem sie wieder bis zum erforderlichen spez. Gewicht eingedickt wird. Eine solche Anlage kommt nur für eine zentrale Reinigung der Spülung von vielen Bohrungen eines größeren geschlossenen Bohrreviers in Frage, da Raumbedarf und Anlagekosten hoch sind. Dementsprechend ist auch die Leistung solcher Regenerationsanlagen hoch. Es kommen Leistungen von täglich 500 — 2000 cbm Spülung vom spez. Gewicht 1,2 mit 5 — 10 % Sand über 0,075 mm Korngröße in Frage.

33 3. Für Einzelbohrungen empfiehlt sich vielmehr das Absieben der Spülung auf Vibratoren oder Zittersieben[19]). Das sind Siebe, denen durch einen geeigneten Antrieb eine rasche vertikale Zitterbewegung der Siebbespannung mitgeteilt wird, also nicht horizontal bewegte Schüttelsiebe. In der Ansauggrube sind nach dem Passieren von Gerinnen oft Schmandteile bis zu 3 mm ∅ in der Spülung. In harten Schiefern und Kalksteinen sind 90 % des Bohrschmands gröber als 0,5 mm. Gerade die gröberen Schmandteile verursachen den schweren Verschleiß an den Pumpen, während die feineren Teile mit einer Dickspülschicht umhüllt bleiben und gar nicht direkt mit dem Metall in Berührung kommen. Daher ist das Sieb das wirtschaftlichste Mittel, nahezu alle Schmandteile aus der Spülung zu entfernen. Wollte man feststehende Siebe verwenden, so würden bei diesen die Maschen sehr schnell verstopft sein, insbesondere wegen der Neigung der Spülung zum Versteifen. Infolge der rapid durchgeführten Vibration wird die Spülung förmlich durch die Zittersiebe hindurchgetrieben. Mit dem Vibrationssieb „Rekord" der Firma Främbs & Freudenberg. Schweidnitz (Abb. 16), wurden eingehende Versuche unternommen, die zeigten, daß eine wirksame Absiebung von Bohrdetritus bis zu 190 μ Korngröße aus Spülungen von dynamischen Zähigkeiten bis zu $\eta = 4{,}5$ Poisen möglich ist. Bei einer Siebspannung bis zu 150 η passieren noch Spülungen von einer dynamischen Zähigkeit $\eta = 10$ Poisen ohne Schwierigkeiten das Zittersieb. Beim Absieben auf Vibratoren fällt das Verdünnen und Wiedereindicken fort. Die Spülung gelangt (siehe Stammbaum Abb. 17) direkt vom Bohrloch auf das Zittersieb, das sie ohne Schwierigkeiten passiert. Der Siebdurchgang stellt eine von Gasblasen und Bohrschmand gereinigte Spülung dar, während das Sieb, dem man eine beliebige Neigung geben kann, den Bohrschmand laufend austrägt. Durch geeignete Maßnahmen kann man unter Abbrausen mit Klarwasser eine laufende Bohrschmandprobe erhal-

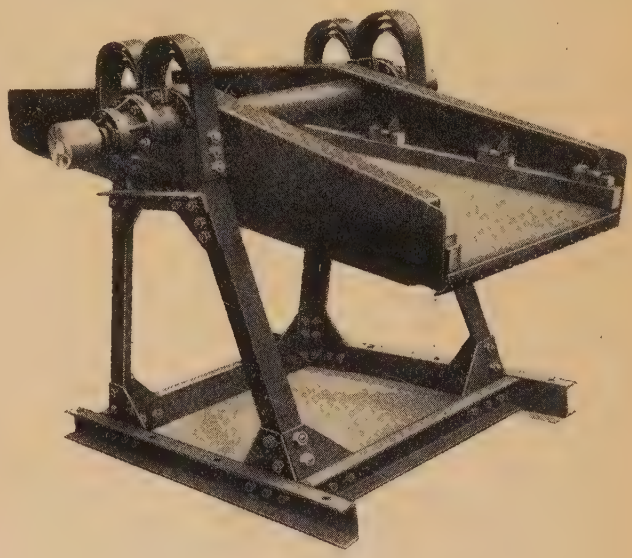

Abb. 16. Vibrationssieb „Rekord".

ten. Zittersiebe tragen jedoch nicht nur ein Korn aus, das der lichten Maschenweite der Bespannung

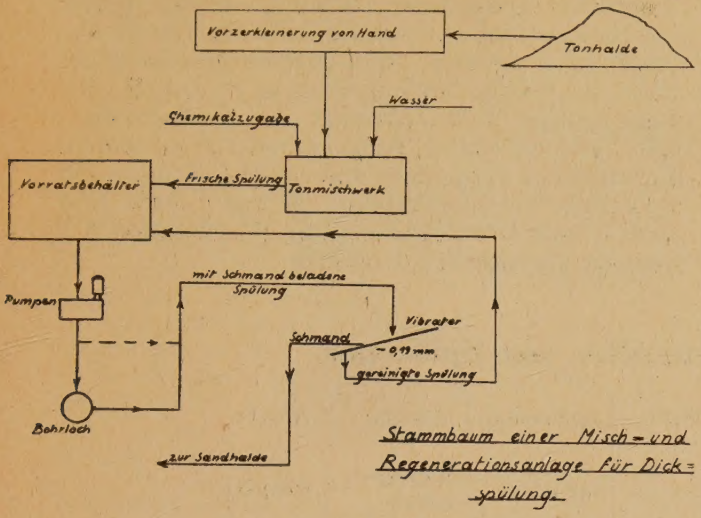

Abb. 17.

entspricht, sondern darüber hinaus noch Unterkorn. Infolge der vibrierenden Bewegung der Siebfläche ballen sich feine Bohrschmandteilchen zu gröberen Aggregaten zusammen, besonders, da sie von einer zähen Haut von Dickspülung umgeben sind und werden auf diese Weise mit aus der Spülung entfernt. Der Bohrschmand einer Bohranlage, der aus feinem Sand bestand und folgende Kornzusammensetzung zeigte, wurde auf dem Vibrator von 190 µ l. Maschenweite abgesiebt.

Korngröße mm	Anfall in %	Σ %
+0,22	6,8	6,8
0,22 —0,125	26,9	33,7
0,125—0,087	49,0	82,7
0,087—0,075	11,3	94,0
—0,075	6,0	100,0
	100,0	

Der Vibratoraustrag zeigte folgende Zusammensetzung:

+0,22	31,0	31,0
0,22 —0,125	32,0	63,0
0,125—0,087	25,0	88,0
0,087—0,075	6,6	94,6
—0,075	5,4	100,0
	100.0	

Darnach bestehen etwa 60 % des Vibratoraustrages aus Unterkorn, das feiner ist, als die Vibratorbespannung. Die Reinigung der Spülung mit Zittersieben macht besondere Absetzgraben unnötig. Die Betriebskosten werden einschließlich Verschleiß mit etwa Mk. 5.00 pro Tag angegeben. Ein Siebsatz soll 500 — 800 Arbeitsstunden halten. Die Lebensdauer eines Siebes hängt wesentlich von der sorgfältigen völlig planen Einspannung ab. Ist das Siebgewebe gewellt, oder zeigt es nach einer Seite größere Neigung, so steigt der Siebverschleiß sehr stark an. Die Kosten für die Anschaffung eines Siebes belaufen sich auf etwa Mk. 800.—. Kraft- und Raumbedarf sind gering, auch bedürfen die Zittersiebe keiner besonderen Fundamente; sie werden einfach auf starke Holzbohlen gesetzt.

33 4. Ist die Hauptmenge des Bohrschmands so fein, daß mit Vibratorsieben keine ausreichende Reinigung der Spülung mehr zu erzielen ist, und ist das Verbleiben des Bohrschmands in der Spülung für den Betrieb untragbar, so müssen Zentrifugen verwendet werden. In der Zentrifugalkraft haben wir ein Mittel, auf kleine Massenteile mit weit größerer Kraft zu wirken, als mit der Erdbeschleunigung in den Absetzbassins und Gerinnen[20]). Die treibende Kraft, die auf einen in einer Zentrifuge befindlichen Körper ausgeübt wird, ist:

$$C = \frac{m.v^2}{r} = \frac{m.r.n^2}{90}$$

C = Zentrifugalkraft
m — Masse des Teilchens
r = Entfernung des Teilchens von der Mitte
n = Tourenzahl pro Minute
v = Umfangsgeschwindigkeit pro Sekunde.

Diese Zentrifugalkraft muß in der Zentrifuge, um Sand und anderen feinen Bohrschmand unter 190 µ wirksam aus der Spülung zu entfernen, genügend groß werden, um den Flüssigkeitswiderstand zu überwinden, den die Dickspülung dem Wandern der Sandteilchen nach der Zentrifugenwand entgegensetzt. Dieser Widerstand hängt vom spez. Gewicht und der Zähigkeit der Spülung und von der Wandergeschwindigkeit der Schmandteilchen ab. Andererseits darf die Zentrifugalkraft nicht so groß werden, daß die Tonteilchen mit aus der Spülung herausgerissen werden. Ein geringer Teil des Tons wird trotzdem beim Zentrifugieren unvermeidlich aus der Spülung ausgeschieden werden. Theoretisch muß eine Trennung von Sanden aus Dickspülungen möglich sein. Zwar ist kein Unterschied zwischen Sandkörnern und Ton im spez. Gewicht vorhanden, doch ist dafür der Unterschied in den Korngrößen ausreichend genug. Während es genügt, Sand bis zu etwa 75 µ aus der Spülung abzutrennen, da unterhalb dieser Korngröße erfahrungsgemäß eine merkbare Schleifwirkung nicht mehr eintritt, weisen die Tonteilchen von Tonen, die für die Dickspülung geeignet sind, nicht mehr als 10 % Bestandteile über 10 µ auf. Die Abtrennung erfolgt am besten in einer Trommelschleuder, Abb. 18.

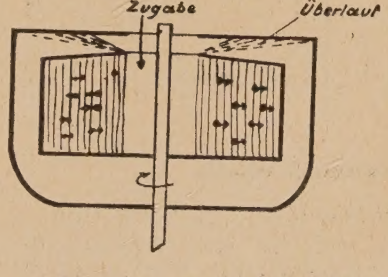

Abb. 18. Schema einer Ueberlaufzentrifuge.

Es gelang, auf einer Ueberlaufschleuder eine Dickspülung vom spez. Gewicht 1,28 und der dynamischen Viskosität η = 1,09 Poisen von allem Sand über 75 µ Korngröße zu befreien. Der Trommeldurchmesser der Zentrifuge betrug dabei 30 cm, die Tourenzahl n = 1500 Umdr./min. Die Spülung wurde zweckmäßig mit dem stabilisierenden Reagens „C" versetzt. Es empfiehlt sich einen Stabilisator zuzusetzen, der die kolloiddispersen Tonteile am Verlassen der Spülung hindert, während die grobdispersen Sande nicht von ihm beeinflußt werden. Die Spülung wurde bei dem Versuch im Ueberlauf ausgetragen, während die Sandkörner an die Trommelwand geschleudert wur-

den, von wo sie von Zeit zu Zeit entfernt werden müssen. Den Sand selbsttätig austragende Zentrifugen sind in der Anschaffung sehr teuer. Die Zentrifugen brauchen gute Fundamente.

Auf amerikanischen Bohrfeldern arbeiten bereits Zentrifugen zur Reinigung der Spülung von feinem Sand[21]), während in Europa erst geeignete Konstruktionen entwickelt werden müssen. Schwerspülungen können in Zentrifugen nicht gereinigt werden, da das schwere Material infolge seines hohen spez. Gewichts und seines nicht kolloiddispersen Zustands noch vor feinem Sand aus der Spülung ausgeschleudert werden würde. Die Reinigung der Spülung vom Bohrschmand ist von großer Bedeutung überall da, wo ein Ersetzen unbrauchbar gewordener Spülung durch frische schwierig ist, sei es durch hohe Kosten für die Beschaffung geeigneten Tons, oder durch Mangel an Platz, um frische Spülung vorrätig zu halten. Die Regeneration muß unbedingt energisch durchgeführt werden, um an Ausgangsmaterial zu sparen, Verschleiß zu verhindern und ernste Störungen des Bohrbetriebes auszuschalten. In der Tabelle sind noch einmal Ueberwachung und Regeneration der Spülung übersichtlich dargestellt.

Ueberwachung und Regeneration von Spülungen.

Spez. Gew.	Viskosität	Bohrschmand	Spülung	pH-Wert	Spülmenge	Ursache	Abhilfe
fällt	fällt	—	—	—	nimmt zu	Wasserzufluß	Absperren
fällt	steigt	—	(koaguliert)	fällt stark unter 7	nimmt zu	saure Wässer	Neutralisieren durch Alkali
fällt	wenig verändert	—	Ölspuren, Gasblasen	—	—	gas- oder öltragende Schicht	Reinigen evtl. Schwerspülung. Viskosität vermindern.
fällt (schwach)	steigt	—	schäumt	steigt über 7	nimmt zu	Laugenzufluß	Peptisieren
unverändert	steigt	Salz	schäumt	steigt über 7	—	Salzschicht	Reinigen und Peptisieren
unverändert	unverändert	—	—	—	nimmt ab	trockene Kluft kavern. Gebirge	Viskosität erhöhen evtl. abdichten.
steigt schwach	—	Sande, Sandsteine Kalke, Tonschiefer	fein	—	—	Feine Sandschichten, Tonschiefer Sandsteine, Kalksteine	Reinigen durch Zentrifugieren.
			grob	—	—		Reinigen durch Vibratoren.
steigt	steigt stark	Tonbrocken	—	—	nimmt wenig zu	Tonschiefer und Tone	Peptisieren evtl. Wasserzugabe.

Zusammenfassung.

Die Begriffe Dickspülung und Schwerspülung werden klargestellt und die Anwendungsgebiete kurz umrissen. Die Dickspülung wird als disperses System gekennzeichnet, das auf der Grenze zwischen kolloider Suspension (flüssig) und Suspensoidgallerte (pseudoplastisch) steht. Als Ursache des verschiedenen Verhaltens der Tone in wässriger Suspension werden primäre Korngrößenunterschiede erkannt. Aus den kolloidchemischen und hydrodynamischen Eigenschaften der Dickspülung werden die Grundsätze für das Bereiten, Ueberwachen und Regenerieren von Dickspülungen abgeleitet. Um hohe Versteifungsgeschwindigkeiten der Spülungen zu erreichen, muß die Konzentration fest : flüssig möglichst hoch sein; dadurch bedingte zu hohe Zähigkeit wird durch Peptisatoren heruntergedrückt. Normale Dickspülung soll im spez. Gewicht nicht unter 1,2, in der dynamischen Zähigkeit zwischen 0,3 und 0,6 Poisen liegen. Als wichtigste Hilfsmittel zur Betriebskontrolle werden spez. Gewicht und Viskosität erkannt und ihre regelmäßige Messung gefordert, um Gefahren vom Bohrbetrieb abzuwenden. Vibratoren und Zentrifugen werden als neuzeitliche Regenerationsapparate empfohlen.

Literaturnachweis.

[1]) Wedekind, Kolloidchemie, Sammlung Göschen.

[2]) Ostwald, Die Welt der vernachlässigten Dimensionen. Dresden und Leipzig 1927.

[3]) Mößner, Der heutige Stand der pneumatischen Aufbereitung, Diss. Breslau 1930.

[4]) Bignell, Carrying Capacities of Mud Fluids, The Oil and Gas Journal (1930, May 22).

[5]) Zimmer, Viskosität und Viskositätsmessungen, Allgem. öst. Ch. T. Ztg. Nr. 7 (1932).

[6]) Hatschek, Die Viskosität der Flüssigkeiten, Dresden und Leipzig 1929.

[7]) The Funnel Type of Mud Viscosimeter, Drilling Mud (April 1931).

[8]) Herrick, Flow of Drilling Mud, The Oil Weekly, 11 (1932).

[9]) Erk, Zähigkeitsmessungen an Flüssigkeiten und Untersuchungen von Viskosimetern, Berlin 1927.

[10]) de Waele, The Thixotropy of pseudo-plastic Systems, Journal of Rheology, 2 (1931).

[11]) Andreasen, Einige Beiträge zur Erörterung der Feinheitsanalyse und ihrer Resultate. Archiv für Pflanzenbau, Berlin 1931.

[12]) Geßner, Die Schlämmanalyse, Leipzig 1931.

[13]) Sawdon, The Mud Problem in Rotary Drilling, The Oil Weekly (Dezember 1930).

[14]) Necessity of Weighted Drilling Muds, Drilling Mud (May 1931).

[15]) Waligóra, Das Absperren von eruptiven Erdgasen mittels Dickspülung, Intern. Z. f. Bohrtechnik, 16 (1928) S. 144.

[16]) Together, Das Problem der Spülung in der Tiefbohrtechnik, Intern. Z. f. Bohrtechn. (1930) 22/24.

[17]) Seymour, Agitating, Stirring and Kneading Maschinery, London, 1925.

[18]) Herr, The physical Characteristics of Mud Fluids, The Oil Weekly (1931) 12.

[19]) Screening Drilling Mud, Drilling Mud 2 (April 1931).

[20]) Block, Die sieblose Schleuder, Leipzig 1921.

[21]) Stockman, Removing Sand from Drilling Mud, The Oil and Gas Journal (Oct. 16. 1930).

LEBENSLAUF

Am 10. Oktober 1904 als Sohn des Kaufmanns Benno Zimmer zu Breslau geboren. Ostern 1923 Reifeprüfung an der Bender-Oberrealschule zu Breslau. Juni 1928 Diplom-Hauptprüfung für Bergingenieure an der Technischen Hochschule in Breslau. Juni 1928 bis Mai 1929 als Ingenieurpraktikant auf der Gefrierschachtbohrung Heinitzgrube Nordschacht bei Beuthen O. S. im Dienste der Tiefbau- und Kälte-Industrie Aktiengesellschaft, vorm. Gebhardt & König, Nordhausen a. Harz. Juni 1929 bis März 1931 als Aufsichtsbeamter auf den Gruben „Bahnschächte“ und „cons Sophie“ der Waldenburger Bergwerksdirektion des Fürsten von Pleß. Seit März 1931 mit der Anfertigung vorliegender Dissertation im Aufbereitungsinstitut der T. H. Breslau, Direktor: o. Professor Dr.-Ing. W. Groß, beschäftigt.